

PROMOÇÃO
**Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo**

REALIZAÇÃO
**Universidade Federal
do Ceará**
UFC

APOIO
CNPq

CAPEL

FAPESP

ANPAG

APOIO INSTITUCIONAL
**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**
Secretaria de Ciência, Tecnologia,
e Inovação Educacional
Secretaria de Desenvolvimento Agrário

**Embrapa
Agricultura Tropical**

**Ministério de Agricultura,
Pecuária e Abastecimento**

**FORALEZA
FÓRUM DE AGRICULTORES
DO CEARÁ**

PATROCÍNIO
agrisus
SOLUÇÕES AGRÍCOLAS
ECONOMIA AGRÍCOLA

**Banco do
Nordeste**
2 anos região I e Administração

CONFEA CREA-CE

VARA

FUNCEME

**PNI
PLANT NUTRITION
INSTITUTE**

Ministério da
Ciência e Tecnologia

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

BRASIL
UM PAÍS DE TODOS
GOVERNO FEDERAL

ORGANIZAÇÃO
**iKONE
EVENTOS**

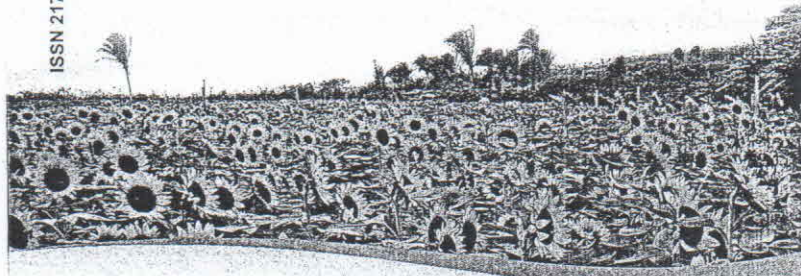
AGÊNCIA OFICIAL
Alto Impacto

**XXXII CONGRESSO
BRASILEIRO
DE CIÊNCIA DO SOLO**



**O SOLO E A PRODUÇÃO
DE BIOENERGIA:
PERSPECTIVAS E DESAFIOS**
2 a 7 de agosto de 2009
Fortaleza-CE

ISSN 2175-313X



Promoção:



**Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo**

Realização:



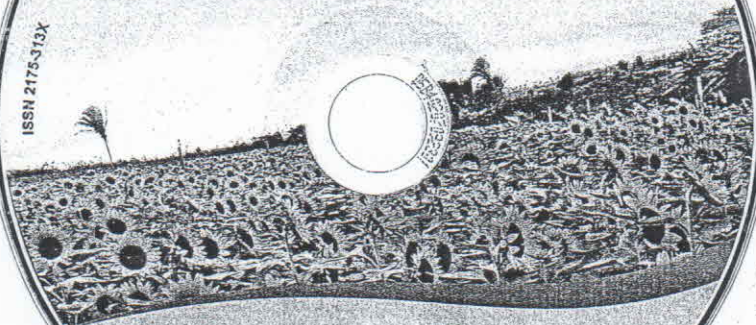
**Universidade Federal
do Ceará**

**XXXII CONGRESSO
BRASILEIRO
DE CIÊNCIA DO SOLO**



**O SOLO E A PRODUÇÃO
DE BIOENERGIA:
PERSPECTIVAS E DESAFIOS**
2 a 7 de agosto de 2009
Fortaleza-CE

ISSN 2175-313X



**Sociedade Brasileira de
Ciência do Solo**



**Universidade Federal
do Ceará**

Fabricado por Wave Media - www.wavemedia.com.br

Aplicação do Modelo de Arya e Paris para Estimativa do Índice S

JULIANA MARIA MANIERI⁽¹⁾, CARLOS MANOEL PEDRO VAZ⁽²⁾, JOÃO DE MENDONÇA NAIME⁽²⁾ & OSNY OLIVEIRA SANTOS BACCHI⁽³⁾

RESUMO Foi proposto a utilização do modelo de Arya & Paris (AP), por meio do software Qualisolo, que fornece a curva de retenção de água no solo (CR), a partir da distribuição do tamanho de partículas (DTP) e da densidade global (ρ) para estimar a qualidade física do solo (índice S) com bom grau de precisão comparado com o obtido das medidas experimentais da CR. O objetivo deste trabalho foi aplicar o modelo AP para estimar S para amostras de solos cujas CR já haviam sido analisadas previamente em dois laboratórios. As amostras continham informações de DTP, ρ e CR analisadas em um grupo de 48 amostras no laboratório de solos da ESALQ e um grupo de 64 na UFRGS. Para todas foram calculados S a partir da CR experimental (S_{CR}) e da CR estimada usando o modelo AP e Qualisolo (S_Q). S_Q e S_{CR} apresentaram correlação de 0,28. Os índices S calculados pela CR ESALQ, apesar de um r^2 inferior ao grupo UFRGS, apresentaram um erro padrão da estimativa menor (0,0055) comparado ao grupo UFRGS (0,012), indicando melhor adequação dos dados ao modelo. Essa diferença pode ser causada tanto por problemas práticos, principalmente no estabelecimento do equilíbrio da amostra, como também por problemas metodológicos. O grupo ESALQ apresentou valores de S (moda e média) para os dois métodos, muito próximos entre si e com um dpm abaixo do grupo de solos UFRGS. A aplicação do modelo AP e Qualisolo contribuirá muito para a agilidade da determinação do índice S.

Palavras-Chave: (qualidade física do solo; curva de retenção; granulometria).

Introdução

O parâmetro físico do solo, S, é definido como a inclinação da curva de retenção de água no solo no seu ponto de inflexão [1]. Dexter [1] propôs o índice S como indicativo da qualidade física do solo com base na curva de retenção de água a qual expressa a distribuição de tamanho de poros do solo. A curva de retenção de água do solo (CR) pode ser obtida pelo método direto, por meio de técnicas tradicionais de laboratório, tais como a da câmara de pressão [2] e da centrífuga [3], ou indiretamente, como proposto por Arya & Paris [4], que em seu trabalho estimaram a CR utilizando a curva completa de distribuição do tamanho

de partículas do solo (DTP) e a densidade global. O índice S, como descrito em Dexter [1] é calculado a partir dos parâmetros obtidos da equação de van Genuchten [5] provenientes do ajuste matemático dos dados de umidade gravimétrica do solo e respectivos potenciais mátricos na CR. Por isso é previsível que, quanto maior o número de pontos, mais representativa será a CR, melhor o ajuste e mais preciso o valor de S, no entanto, mais oneroso será seu levantamento principalmente para a caracterização de grandes áreas. Segundo Silva et al. [6], para se obter uma boa representatividade para solos de Cerrado, o ideal é a utilização de oito pontos de potencial mátrico, correspondentes aos valores de 1, 3, 6, 10, 35, 84, 611 e 1.515 kPa. No entanto, quando é feita a estimativa da CR partindo da DTP obtida pelo analisador granulométrico de raios gama [7] e utilizando o modelo de Arya & Paris [4] (AP), a curva de retenção passa a contar com 20 pontos de potencial mátrico e umidade. Com um maior número de pontos o ajuste matemático e os valores de S se tornam mais precisos. Para agilizar as etapas de cálculo na aplicação do modelo AP, com o ajuste matemático da CR e determinação do parâmetro S, foi desenvolvido por Naime et al. [8] um programa de computador, Qualisolo, que trabalha de forma integrada ao analisador granulométrico. O presente trabalho tem como objetivo propor o cálculo do índice S a partir da CR estimada pelo modelo de AP, utilizando um conjunto de 111 amostras de solos pré-adquiridas contendo informações de granulometria pelo analisador granulométrico de raios gama, densidade global e CR analisadas pelos laboratórios de solos da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-ESALQ e Universidade Federal do Rio Grande do Sul -UFRGS.

Material e Métodos

Para o procedimento da estimativa do índice S pelo modelo de AP e o Qualisolo, com dados detalhados de granulometria e densidade, foi utilizado um banco de dados já existente referente a 111 amostras de solos com textura variando de arenoso a muito argiloso. Foram determinados também para essas amostras a CR nos laboratórios da ESALQ e UFRGS, possibilitando a comparação do índice S obtido pelo Qualisolo, utilizando o modelo AP e diretamente da CR.

a) Curva de retenção de água no solo

A medida de retenção de água no solo foi realizada nos laboratórios de física do solo da ESALQ e UFRGS, com aplicação das seguintes pressões: 1, 2, 4, 8, 10, 33, 100,

⁽¹⁾ Primeiro Autor é Doutoranda em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo, Caixa Postal 96, Piracicaba, SP, CEP 13400-970. E-mail: jmvarandas@gmail.com. Apoio Financeiro: FAPESP.

⁽²⁾ Segundo e Terceiro Autores são Pesquisadores da Embrapa Instrumentação Agropecuária. R. XV de Novembro, 1452 São Carlos, SP, CEP 13560-970.

⁽³⁾ Quarto Autor é Pesquisador do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo, Caixa Postal 96, Piracicaba, SP, CEP 13400-970.

500 e 1500 kPa e 1, 5, 10, 33, 100, 500 e 1500, respectivamente.

b) *Determinação do índice S a partir da curva de retenção*

Com os valores de umidade e potencial foi realizado o ajuste ao modelo de van Genuchten [5] (eq.1). Como descrito em Dexter (2004) para esse procedimento, foram utilizados os valores de umidade gravimétrica (kg kg^{-1}) e os valores de potencial da água no solo, expressos em hPa.

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left(\frac{1}{1 + (\gamma \psi)^n} \right)^{\frac{n-1}{n}} \dots \dots \dots \text{(eq.1)}$$

onde θ_r e θ_s ($\text{kg}^1 \text{kg}^{-1}$) são os conteúdos de água residuais e do solo saturado, respectivamente, ψ (hPa) é o potencial mátrico e γ e n são parâmetros de ajuste sem significado físico. Esses parâmetros (θ_r , θ_s , γ e n) foram obtidos pelo ajuste não-linear de mínimos quadrados [9], usando a ferramenta solver do Excel (Microsoft®).

A partir dos valores das variáveis α , n , θ_r e θ_s , calculou-se o índice S utilizando a equação descrita por Dexter [1]:

$$S = -n(\theta_s - \theta_r) \left[\frac{2n-1}{n-1} \right]^{\frac{1}{n-2}} \dots \dots \dots \text{(eq.2)}$$

$S > 0,035$ indica solo de boa qualidade, $0,020 < S \leq 0,035$ solo pobre e $S \leq 0,020$ solo muito pobre. Portanto, o cálculo do índice S feito a partir da curva de retenção experimental será chamado neste trabalho de S_{CR} .

c) *Análise Granulométrica*

A distribuição do tamanho de partículas foi determinada pelo analisador granulométrico automático de raios gama [7], baseado na atenuação de um feixe de raios gama pelas partículas dispersas em sedimentação. As amostras compostas foram coletadas a uma profundidade de 0-20 cm sendo que as medidas foram feitas em triplicatas, utilizando-se dos valores médios para fazer a DTP. As amostras foram secas em estufa a temperatura de 60 °C por um período de 24 horas [10] e peneiradas em malha de 2 mm. Depois foram pesadas 40 g de solo e deixadas em contato com 10 ml de NaOH, 1 N, por uma noite. Após esse período as amostras passaram por agitação mecânica de alta rotação por um tempo de 15 minutos, para solos argilosos, ou 5 minutos, para solos arenosos. Após o processo de agitação as amostras foram colocadas em recipientes especiais de acrílico e introduzidas na plataforma do equipamento para análise. Para analisar um conjunto de 10 amostras o equipamento leva em média 3 horas. Os resultados foram armazenados em um arquivo de texto contendo dados de concentração acumulada, em porcentagem da concentração inicial, e diâmetro de partícula (μm).

h) *Índice S – modelo de Arya e Paris e Qualisolo*

Neste caso, o modelo de Arya e Paris estima a curva de retenção a partir da granulometria detalhada do solo. Por isso, obtém-se a curva de retenção com um conjunto de pontos muito maior, com mais agilidade e menor custo. O modelo é baseado em dois

conceitos. Primeiro a equação da capilaridade que relaciona o potencial mátrico (ψ_i), com o raio do poro (r_i)

$$\psi_i = \frac{2\sigma \cos \Theta}{\rho_w g r_i} \dots \dots \dots \text{(eq. 3)}$$

onde σ (N m^{-1}) é a tensão superficial na interface ar-água, Θ é o ângulo de contato entre a água e a superfície da parede do poro (assumido como $\Theta = 0$), ρ_w (kg m^{-3}) é a densidade da água e g (m s^{-2}) a aceleração da gravidade. No sistema internacional de unidade (SI), $\sigma = 0,0728 \text{ N m}^{-1}$ e $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$.

Segundo é o cálculo do conteúdo de água a partir da distribuição do tamanho das partículas, como uma contribuição de cada fração para o molhamento do solo.

$$\theta_i = \phi \sum_{i=0}^{i=1} w_i \dots \dots \dots \text{(eq. 4)}$$

onde ϕ ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) é a porosidade, w_i (kg kg^{-1}) é a fração de massa, calculada por meio de uma função sigmoideal ajustada aos dados de distribuição de tamanhos de partículas do solo. A porosidade do solo pode ser estimada pela expressão $\phi = 1 - (\rho_s / \rho_p)$, onde ρ_s (kg m^{-3}) é a densidade do solo e ρ_p (kg m^{-3}) é a densidade das partículas do solo considerada a mesma para todas as frações de massa w_i .

O raio dos poros (r_i) é determinado do raio das partículas (R_i), considerando o empacotamento de partículas esféricas e um fator de escalonamento α , que corrige a estimativa para solos estruturados [4,11], por meio da equação:

$$r_i = R_i \sqrt{4en_i^{1-\alpha} / 6} \dots \dots \dots \text{(eq. 5)}$$

onde n_i é o número de partículas da classe i e e é a razão de vazios (volume de poros / volume de partículas), conforme Arya & Paris [4]:

$$n_i = \frac{3w_i}{4\pi R_i^3 \rho_p} \dots \dots \dots \text{(eq. 6)}$$

$$e = \frac{\rho_p - \rho_s}{\rho_s} \dots \dots \dots \text{(eq. 7)}$$

O potencial mátrico do solo é calculado pela combinação das equações 3, 5, 6 e 7:

$$\psi_i = \frac{2\sigma}{\rho_w g R_i \sqrt{\frac{2(\rho_p - \rho_s)}{3\rho_s} \left(\frac{3w_i}{4\pi R_i^3 \rho_p} \right)^{1-\alpha}}} \dots \dots \dots \text{(eq. 8)}$$

Uma vez conhecido o fator de escalonamento α , a curva de retenção pode ser estimada calculando-se a umidade pela equação 4 e o potencial mátrico pela equação 8, para as seguintes 20 classes de diâmetros de partículas: 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1500 e 2000 μm .

O programa Qualisolo utiliza o arquivo de dados de concentração e diâmetro de partículas gerado pelo Analisador Granulométrico e a densidade do solo e aplica o modelo AP. Em seguida, a equação de van Genuchten é ajustada aos 20 pontos do modelo AP e o índice S é calculado na equação 2. Portanto, dessa forma, o cálculo do índice S feito a partir da curva de retenção estimada será chamado neste trabalho de S_Q .

Resultados e Discussão

Na Figura 1 é apresentado a relação entre valores de S_Q versus S calculado de forma direta, a partir da curva de retenção experimental (S_{CR}) e também a distinção entre as amostras analisadas no laboratório de solos da UFRGS e da ESALQ. O coeficiente de correlação entre os solos de todo o conjunto (111 amostras) foi de 0,28, demonstrando a necessidade de se trabalhar com um conjunto ainda maior de solos. Observa-se uma diferença entre os dois grupos (ESALQ e UFRGS). Os dados ESALQ, observando a Figura 1, demonstram uma dispersão menor dos dados se comparado ao grupo UFRGS, mas apresentaram um r^2 inferior (0,17). No entanto, o epe é menor para o conjunto ESALQ (0,0055) e maior para o conjunto UFRGS (0,0125) indicando que houve uma melhor aplicação do modelo para o conjunto ESALQ. Esse fato pode ser explicado pela pequena amplitude na variação dos valores de S para esse conjunto de dados (ESALQ) e por um número de amostras inferior. Essa diferença dos valores de S entre os dois laboratórios também pode ser justificada devido a problemas práticos da câmara de pressão como o estabelecimento do equilíbrio, que ocorre quando cessa a saída de água da amostra na câmara de pressão, pois o julgamento do exato instante desse processo ainda é questionável [12,13]. Outros problemas metodológicos na determinação de curvas características de água no solo podem também ser responsáveis por tais diferenças. Moraes & Libardi [14] verificaram grande variabilidade de resultados, principalmente em altas pressões. Essa variabilidade encontrada foi atribuída principalmente às variações de temperatura da região, ou seja, grandes variações entre a máxima e a mínima em um mesmo dia, que provocam efeitos diretos sobre bolhas de ar aprisionadas nas amostras de solo. Na comparação entre os métodos para o cálculo do índice S (S_{CR} e S_Q), verifica-se na Tabela 1, que S_{CR} apresentou uma maior variabilidade entre seus pontos ($dpm = 0,0091$), demonstrando ser mais sensível às variações de densidade ou textura. No entanto, os valores de S máximo e mínimo para os dois métodos mostraram-se muito próximos. Já quando foram avaliados os conjuntos separadamente (Tabelas 2 e 3), constatou-se que os valores de S (moda e média) para os dois métodos, dos solos analisados na ESALQ estão muito próximos entre si e com um dpm abaixo do grupo de solos UFRGS.

Na Figura 3 observa-se o efeito da densidade no índice S . Verifica-se nos gráficos a mesma tendência observada por Dexter [1], ressaltando que o método S_Q apresentou valores de r^2 superiores comparados ao método S_{CR} .

Dexter [1], explica em seu trabalho que quando um solo é compactado, o volume de poros é reduzido. No entanto nem todos os poros são reduzidos da mesma forma. Os poros maiores são reduzidos de tamanho e a compactação cessa quando o solo se torna suficientemente resistente ao estresse aplicado a ele. Essa perda preferencial dos poros maiores tem o efeito

de alterar o tamanho dos poros e conseqüentemente a curva de retenção de água no solo. Por isso a tendência de uma redução do índice S com o aumento da densidade do solo. No entanto, o autor explica que nem sempre isso acontece, pois algumas vezes a compactação pode aumentar o número de microporos capazes de reter água e resultar em um aumento do índice S , melhorando a Qualidade Física do Solo.

Conclusões

1) Para a validação do modelo de Dexter é muito importante um conjunto grande de amostras com variação de textura e densidade; 2) as medidas comparativas de obtenção de S demonstraram que o programa Qualisolo é uma ferramenta que contribuirá para a agilidade das análises físicas do solo e; 3) O índice S é influenciado pela densidade e textura do solo como demonstrado em Dexter (2004a).

Agradecimentos

A FAPESP, CENA/USP e EMBRAPA Instrum. Agropec. pelo apoio financeiro e pelas orientações.

Referências

- [1] DEXTER, A. R. 2004a. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120: 201-214.
- [2] RICHARDS, L. A. 1965. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARK, F.E. (Ed.). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling*. Madison: *American Society of Agronomy*. p.128-152.
- [3] SILVA, E. M. da; AZEVEDO, J. A. de. 2002. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37: 1487-1494.
- [4] ARYA, L. M.; PARIS, J. F. 1981. A physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 1023-1030.
- [5] van GENUCHTEN, M. T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898.
- [6] da SILVA, E. M.; LIMA, J.E. F. W.; AZEVEDO, J. A. & RODRIGUES, L.N. 2006. Valores de tensão na determinação da curva de água de solos do cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41: 323-330.
- [7] NAIME, J. M.; VAZ, C.M.P., MACEDO, A. 2001. Automated soil particle size analyzer based on gamma-ray attenuation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31: 295-304.
- [8] NAIME, J. M.; VAZ, C.M.P.; MACEDO, A. 2006. Determinações físicas do solo a partir da granulometria: programa qualisolo. In: Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, 16., Aracaju – Se. *Anais...*Aracaju, ICD.
- [9] WRAITH, J.M.; OR, D. 1998. Nonlinear parameter estimation using spreadsheet software. *J. Nat. Resour. Life Sci. Educ.* 27: 13-19.
- [10] EMBRAPA. 1997. Manual de Métodos de Análise de Solos, 2ª edição. *Embrapa-CNPS*, Rio de Janeiro, p.27-36.
- [11] ARYA, L.M.; LEIJ, F.J.; van GENUCHTEN, M.T.; & SHOUSE, P.J. 1999. Scaling parameter to predict the soil water characteristic from particle-size distribution data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:510-519.
- [12] CENTURION, J.F.; MORAES, M.H.; DELLA LIBERA, C.L.P. 1997. Comparação de métodos para a determinação da

curva de retenção de água em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*.21: 173-179.

- [13] BACCHI, O.O.S.; REICHARDT, K.L.C.M.; NIELSEN, D.R. 1998. Gammaray beam attenuation as an auxiliary technique for the evaluation of soil water retention curve. *Scientia Agrícola*.55: 499-502.

- [14] MORAES, S.O.; LIBARDI, P.L.; NETO, D.D. 1993. Problemas metodológicos na obtenção da curva de retenção da água pelo solo. *Scientia Agrícola*.58: 383-392.

Tabela 1. Valores referentes à moda, média, desvio padrão da média (dpm), mínimo e máximo, para as 111 amostras de solo com curva de retenção analisada nos laboratórios da ESALQ e do UFRGS.

	moda	média	dpm	mínimo	máximo
S_{CR}	0,0314	0,0314	0,0091	0,0161	0,0539
S_Q	0,0224	0,0252	0,0068	0,0129	0,0527

Tabela 2. Valores referentes à moda, média, desvio padrão da média (dpm), mínimo e máximo, para as 64 amostras de solo com curva de retenção analisada no laboratório da UFRGS.

	moda	média	dpm	mínimo	máximo
S_{CR}	0,0369	0,0371	0,0065	0,0228	0,0539
S_Q	0,02611	0,0272	0,0080	0,0129	0,0527

Tabela 3. Valores referentes à moda, média, desvio padrão da média (dpm), mínimo e máximo, para as 48 amostras de solo com curva de retenção analisada no laboratório da ESALQ.

	moda	média	dpm	mínimo	máximo
S_{CR}	0,0228	0,0237	0,0058	0,0161	0,0429
S_Q	0,0228	0,0225	0,0031	0,018	0,0290

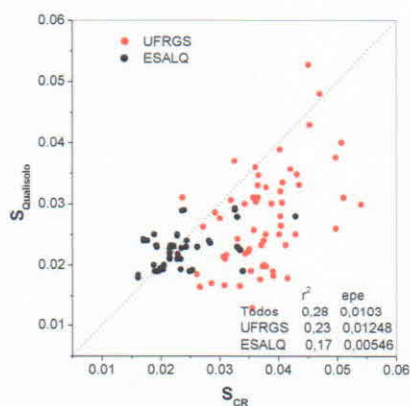


Figura 1. Relação entre valores de índice S calculados através do programa Qualisolo $S_{Qualisolo}$ x S calculado a partir da curva de retenção experimental S_{CR} , para as 111 amostras de solos.

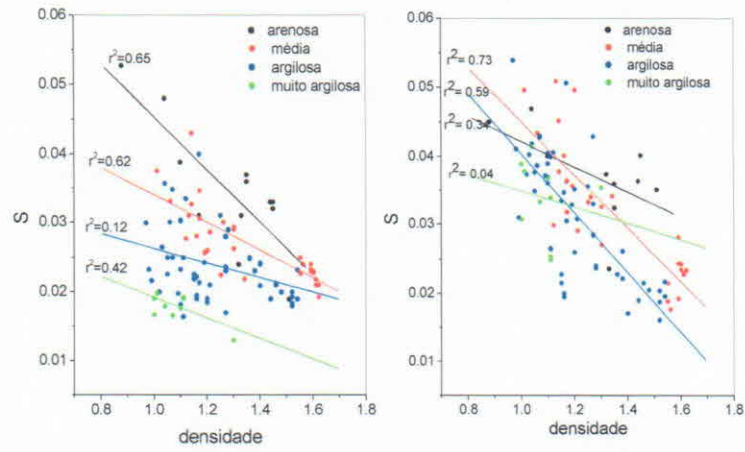


Figura 3. Efeito da densidade e da textura nos valores de índice S calculado para as 111 amostras, a partir do programa Qualisolo e da curva de retenção experimental, respectivamente.