

## Efeito da textura e densidade do solo nos valores do índice-S de qualidade física do solo <sup>(1)</sup>.

**Raphael Leone da Cruz Ferreira<sup>(2)</sup>; Pedro Daniel de Oliveira<sup>(3)</sup>; Michel Keisuke Sato<sup>(4)</sup>; Herdjanía Veras de Lima<sup>(5)</sup>; Katiane Raquel Mendes Barros<sup>(3)</sup>; Antonia Kilma de Melo Lima<sup>(3)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do DAAD.

<sup>(2)</sup> Graduando em Agronomia; Universidade Federal Rural da Amazônia; <sup>(3)</sup> Doutorando no PPG em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia – Belém – PA. [daniel.oliveira@ufra.edu.br](mailto:daniel.oliveira@ufra.edu.br); <sup>(4)</sup> Mestrando no PPG em Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia; <sup>(5)</sup> Professora do Instituto de Ciências Agrárias; Universidade Federal Rural da Amazônia.

**RESUMO:** O índice-S se apresenta como eficiente indicador para avaliar a qualidade física do solo, pois seu valor independe da textura. O objetivo é avaliar a relação entre índice-S e propriedades do solo como textura e densidade, visando obter valores críticos do índice-S. Foram utilizados Latossolos de diferentes classes texturais coletados em 4 áreas do nordeste paraense. Determinou-se a granulometria, densidade do solo, curva de retenção de água e índice-S. No ensaio foram usados vasos plásticos com capacidade de 14L. Obteve-se os seguintes tratamentos: 5 níveis de compactação para os solos franco arenoso e franco-argilo-arenoso e 3 níveis de compactação para os solos argiloso e muito argiloso, com 3 repetições cada, totalizando 48 unidades experimentais. Foram coletadas 8 amostras indeformadas de cada unidade experimental, totalizando 384 amostras. Obteve-se menores valores do índice-S com o aumento do conteúdo de argila. Índice-S crítico difere nos solos mais arenosos e argilosos.

**Termos de indexação:** Densidade do solo crítica, compactação do solo, van Genuchten.

### INTRODUÇÃO

O índice-S é um indicador de qualidade do solo obtido a partir da curva de retenção água no solo (CRA) e baseia-se na inclinação da CRA no seu ponto de inflexão. Quanto maior essa inclinação, maior o valor do índice-S e melhor a condição estrutural e o comportamento físico do solo (Dexter, 2004).

O valor de 0,035 do índice-S é considerado crítico para o desenvolvimento radicular, onde o solo nesta condição apresenta-se mal estruturado e em alto grau de degradação física. Esse valor é proposto para qualquer solo independente da textura (Dexter, 2004).

A matéria orgânica (MO) do solo assim como a densidade do solo (Ds) apresenta correlação positiva e negativa, respectivamente, com o Índice S (Dexter, 2004; Andrade & Stone, 2009; Kutlu & Ersahin, 2008). A compactação reduz o volume de

poros. No entanto, a redução não é similar entre todos os poros do solo. Logo há alteração na distribuição do tamanho de poros que é diretamente relacionado com o índice-S (Dexter, 2004).

O objetivo do trabalho foi avaliar a relação entre o índice-S e propriedades do solo como a textura e densidade do solo, utilizando solos tropicais da Amazônia, visando obter valores críticos do índice-S.

### MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados solos classificados como Latossolos de diferentes classes texturais coletados em 4 áreas localizadas no nordeste do estado do Pará (Tabela 1). Em cada área foram coletados, aproximadamente, 0,4 m<sup>3</sup> de solo da camada de 0–20 cm de profundidade. O material coletado foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira com abertura de malha de 2 mm. Amostras deformadas foram retiradas para determinação da análise granulométrica (Gee e Bauder, 1986), e determinação da matéria orgânica do solo (Embrapa, 1997).

**Tabela 1 – Área de coleta, uso do solo, Matéria orgânica (MO) e granulometria dos solos estudado.**

Área	Uso do solo	g kg <sup>-1</sup>				Classe Textural
		MO	Areia	Silte	Argila	
C1 <sup>§</sup>	Capoeira	25,7	756,22	68,6	175,2	FA*
P2 <sup>¶</sup>	Pastagem	37,1	663,3	129,9	206,8	FAA**
C2 <sup>§</sup>	Capoeira	33,8	396,43	165,3	438,3	A***
P1 <sup>¶</sup>	Soja	43,4	53,2	237,0	709,8	MA****

<sup>§</sup> Município de Capitão Poço <sup>¶</sup> Município de Paragominas; \*Franco-Arenoso; \*\*Franco argilo-arenoso; \*\*\* Argiloso; \*\*\*\*Muito argiloso;

O experimento consistiu da compactação do material coletado. Para implantação do ensaio experimental foram utilizados vasos plásticos cilíndricos com capacidade de 14 L (0,235 m de diâmetro e 0,290 m de altura). O solo foi compactado no vaso até a altura de 0,20 m,

correspondendo a um volume de solo utilizado por vaso igual a 8,49 L.

Para a compactação utilizou-se um êmbolo em queda livre no centro geométrico de um suporte de madeira com diâmetro de 0,230 m (Beutler et al., 2004). A altura de queda foi de, aproximadamente, 0,60 m e o êmbolo com massa de 7 kg. O objetivo foi obter diferentes valores de  $D_s$  para cada classe textural. Para que a compactação do solo fosse uniforme foi determinado, previamente, o teor de água e a massa de solo necessária para cada nível de compactação ou  $D_s$  a ser atingida, consistindo na adição de água ou secagem do solo quando muito úmido.

Para o ensaio experimental obteve-se os seguintes tratamentos: cinco níveis de compactação para os solos franco arenoso (1,35; 1,40; 1,49; 1,60; e 1,70  $\text{Mg m}^{-3}$ ) e franco-argilo-arenoso (1,36; 1,43; 1,50; 1,61; e 1,69  $\text{Mg m}^{-3}$ ) e três níveis de compactação para os solos argiloso (1,35; 1,41 e 1,48  $\text{Mg m}^{-3}$ ) e muito argiloso (1,15; 1,24 e 1,27  $\text{Mg m}^{-3}$ ), com três repetições cada, totalizando quarenta e oito unidades experimentais.

Foram coletadas 8 amostras indeformadas com o auxílio de anéis volumétricos (5cm x 5cm) de cada unidade experimental, totalizando 384 amostras para a determinação da CRA (Tormena et al., 1998), e densidade do solo (Blake & Hartge, 1986).

O ajuste da CRA foi feito através da equação 1, de van Genuchten (1980), utilizando a restrição  $m = 1 - 1/n$ .

$$\theta = (\theta_s - \theta_r)[1 + (\alpha h)^n]^{-m} + \theta_r \quad (1)$$

onde:  $\theta_s$  representa a umidade na saturação;  $\theta_r$  a umidade residual no potencial de -1500 kPa;  $h$  é igual ao potencial aplicado e  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  são os parâmetros do modelo.

Para calcular o índice-S, utilizou-se a equação 2 apresentada por Dexter (2004), que é utilizada quando o ajuste da CRA é feito pelo modelo de Van Genuchten (1980).

$$S = \left[ -n \times (\theta_s - \theta_r) \times \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{-(1+m)} \right] \quad (2)$$

onde:  $m$  e  $n$  são os parâmetros da equação de Van Genuchten (1980), ajustados para os solos estudados, e  $\theta_s$  e  $\theta_r$  são a umidade de saturação e a umidade residual, respectivamente

A análise estatística consistiu de correlacionar a  $D_s$  e o índice-S, seguindo da análise de variância da regressão entre estas duas variáveis, buscando o modelo que melhor se ajuste ao conjunto de dados.

Para todos os solos estudados a densidade do solo correlacionou-se negativamente com os valores do índice-S (Figura 1). Observa-se na figura 1 que o ajuste linear para os solos, franco arenoso e franco argilo-arenoso, apresentaram valores de p-valor ( $p$ ) altamente significativos, assim como o erro-padrão dos coeficientes das equações ajustadas. Para todos estes coeficientes o nível de significância  $p < 0,0001$ . Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram relativamente altos.

Para os solos argiloso e muito argiloso, embora os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) tenham sido baixos, os ajustes lineares mostraram níveis de significância relativamente altos. O p-valor para os coeficientes das equações também foram altamente significativos ( $p < 0,0001$ ), com exceção do coeficiente angular -0,1332 ( $\pm 0,035$ ) do modelo do solo argiloso em que  $p < 0,001$ .

Os baixos valores do  $R^2$  para as equações dos solos mais argilosos requerem alguns comentários. Como o número de tratamentos ou níveis de compactação obtidos foi menor para esses solos, o intervalo dos valores de  $D_s$  foi pequeno. Logo, a variação do índice-S nesses intervalos foi baixa.

O índice-S é menor com o aumento da  $D_s$  (Figura 1). Andrade & Stone (2009) e Freddi et al. (2009) também encontraram essa relação trabalhando com solos tropicais do cerrado e sul do Brasil, respectivamente. Esses resultados também foram encontrados em solos de clima temperados por Dexter (2004) e Kutlu & Ersahin (2008).

Observam-se menores valores do índice-S com o aumento do conteúdo de argila (Figura 1). Para os solos mais arenosos (FA e FAA) o índice-S foi maior, considerando a menor  $D_s$ , decrescendo fortemente com o aumento da  $D_s$ . Já o solo muito argiloso os valores do índice-S foram menores, e valores intermediários foram encontrados para o solo argiloso. Para Dexter (2004), o índice-S apresenta tendência a diminuir com o aumento do conteúdo de argila até aproximadamente 20 %, ocorrendo um pico entre 30% e 50%, depois diminuindo inesperadamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Kutlu & Ersahin (2008) para este pico. Isto está relacionado ao aumento do desenvolvimento da microestrutura com a variação da textura (Dexter, 2004).

A determinação de um valor crítico do índice-S, foi feita substituindo valores de  $D_s$  crítica ao crescimento radicular de acordo com cada classe textural, nas equações ajustadas de cada solo (Tabela 2). A  $D_s$  crítica ao crescimento radicular é inversamente proporcional ao conteúdo de argila do solo (Jones, 1983). O valor desta  $D_s$  crítica para cada solo foi determinada utilizando um modelo matemático proposto por Jones (1983) (Tabela 2).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

**Tabela 2** - Valores de Ds crítica segundo Jones (1983), e respectivos valores críticos de índice-S, para cada solo.

Solo	Ds crítica	Índice-S crítico
FA*	1,73 <sup>†</sup>	0,061
FAA**	1,69	0,027
A***	1,57	0,037
MA****	1,42	0,038

\*Franco-Arenoso; \*\*Franco argilo-arenoso; \*\*\* Argiloso; \*\*\*\*Muito argiloso; <sup>†</sup> Valor calculado utilizando o modelo de Jones (1983): [ Ds = 1,83 - 0,0043(argila + silte) ].

Observa-se na tabela 2 que índice-S crítico é diferente entre solos mais arenosos e argilosos. Para o modelo de Jones (1983) o valor de Ds crítica encontrado proporciona apenas 30% do desenvolvimento radicular. Para essa condição é proposto pela literatura o valor de S=0,020, como crítico para solos de qualquer classe textural (Dexter, 2004). O solo FAA foi o que mais se aproximou deste valor. Já os solos A e MA os valores do índice-S crítico foram praticamente iguais, porém aproximadamente duas vezes maior que o FAA.

Para o solo FA o valor crítico foi maior em relação aos outros solos estudados. Este comportamento pode estar associado ao menor conteúdo MO deste solo (Tabela 1) e maior conteúdo de areia. Por não ter uma relação direta com a textura, os valores de índice-S devem sempre levar em consideração o conteúdo MO (Dexter, 2004; Kutlu & Ersahin, 2008). Além disso, Arthur et al. (2011), verificaram que o índice-S apresenta uma performance ruim para caracterizar solos com conteúdo de areia mais elevado.

## CONCLUSÕES

O valor crítico do índice-S é maior para solos argilosos. O índice-S=0,0375 é considerado crítico para solos argilosos e S=0,0270 é crítico para solos arenosos.

## AGRADECIMENTOS

Ao DAAD (Serviço de Intercâmbio Acadêmico Brasil-Alemanha) pela concessão de bolsa de estudo.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. S. & STONE L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro- Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.13, n.4, p.382-388, 2009.

ARTHUR, E.; COMELIS, W. M.; VERMANG, J. & DE ROCKER, E. Amending a loamy sand with three compost types: impact on soil quality. *Soil Use and Management*, 27, 116-123, 2011.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J. F. & SILVA, A.P. Intervalo hídrico ótimo e a produção de soja e arroz em dois latossolos. *Irriga. Botucatu*, v.9: n. 2: p. 181 - 192. 2004.

BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.

DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120:201-214, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*; 2.ed.; Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; DUARTE A. P. & LEONEL, C. L. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em latossolo vermelho. I - características de planta, solo e índice s. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*; 33:793-803, 2009.

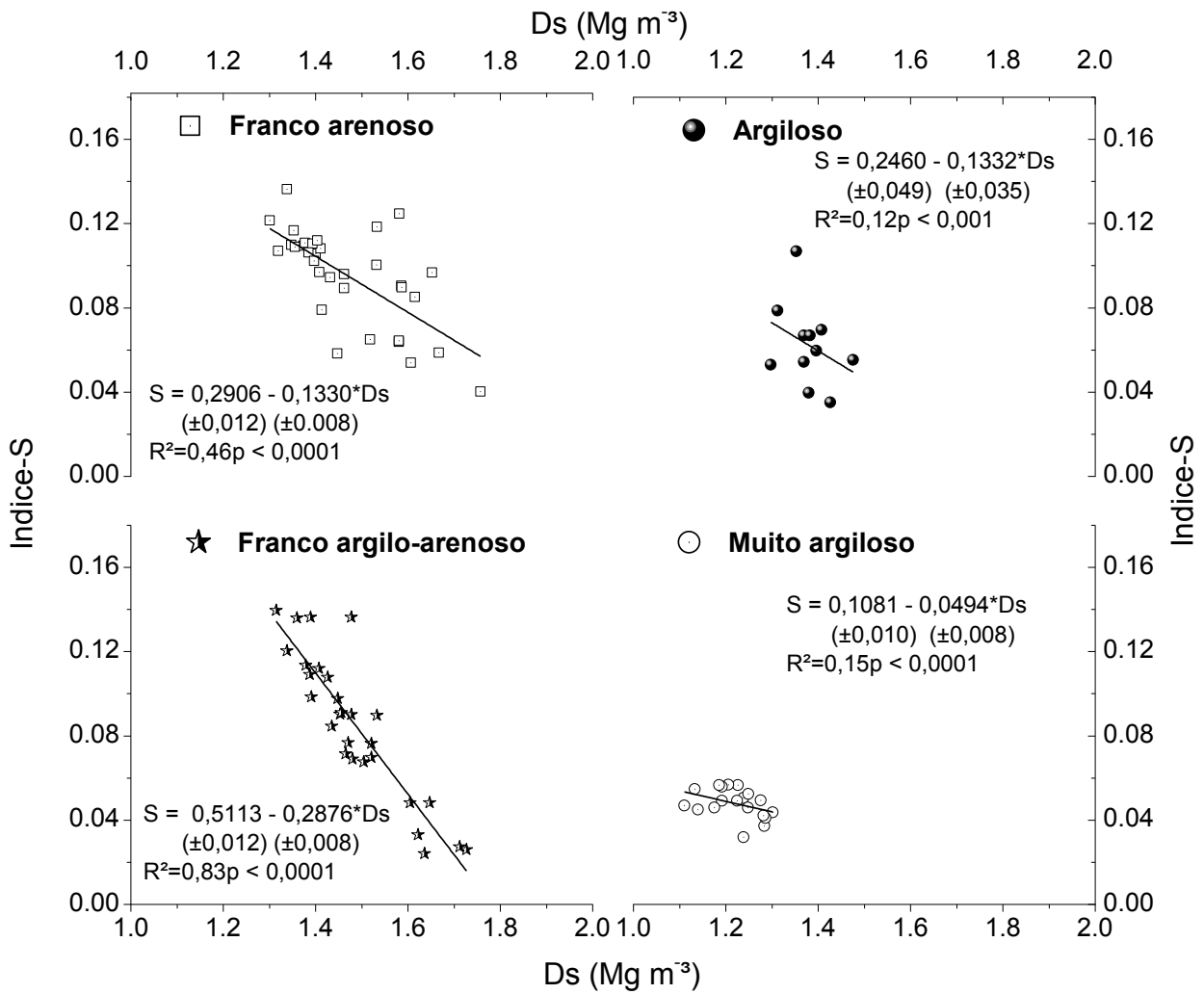
GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. pt.1, p.383-411.

JONES, C.A. Effect of soil texture on critical bulk densities for root growth; *Soil Science Society of America Journal*; 47, 1208- 1211. 1983

KUTLU, T. & ERSAHIN S. Evaluation of soil physical quality in mollic ustifluent typic ustifluent and typic ustorthent using Dexter's S-theory; *Journal of Food, Agriculture & Environment*; Vol.6 (3&4), July-October 2008.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*; 22:573-581, 1998.

van GENUCHTEN, M.T. A Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*; 44:892-898, 1980.



**Figura 1** – Relação entre o índice-S e densidade do solo para os quatro solos estudados de classes texturais diferentes.