

# ÍNDICE S NO DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE ESTRUTURAL DE LATOSSOLO MUITO ARGILOSO SOB MANEJO INTENSIVO

## *S INDEX IN STRUCTURAL QUALITY DIAGNOSTIC OF A VERY CLAYEY OXISOL UNDER INTENSE MANAGEMENT*

**Bruno Montoani SILVA<sup>1</sup>; Geraldo César OLIVEIRA<sup>2</sup>; Milson Evaldo SERAFIM<sup>3</sup>; Érika Andressa da SILVA<sup>4</sup>; Larissa Maia de OLIVEIRA<sup>4</sup>**

1. Mestrando em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, MG, Brasil, Bolsista CNPq. [montoani@gmail.com](mailto:montoani@gmail.com); 2. Professor Doutor Associado do Departamento de Ciência do Solo - UFLA, Bolsista CNPq, [geraldooliveira@dcs.ufla.br](mailto:geraldooliveira@dcs.ufla.br); 3. Professor Doutor do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Mato Grosso, Cáceres, MT, Brasil; 4. Graduando em Agronomia, bolsista Fapemig; 5. Graduando em Agronomia, bolsista CNPq.

**RESUMO:** Neste estudo foi verificada a adequação de uso do índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado cultivado com cafeeiro sob sistema de manejo que adota a aplicação de altas doses de gesso na linha da cultura, cultivo e manejo mecanizado de braquiária na entrelinha da cultura, além de preparo do sulco de plantio até 60 cm de profundidade, dentre outras técnicas de manejo intensivo. O índice S foi correlacionado à densidade e à porosidade do solo nas profundidades de 5, 20, 40 e 80 cm, na linha do cafeeiro, e 5, 10, 20, 40, 65 cm na entrelinha do cafeeiro. Para a determinação do índice S nas diferentes profundidades e locais de amostragem foram construídas curvas de retenção de água, sendo utilizadas amostras com estrutura preservada. Os valores deste atributo físico foram superiores a 0,045 indicando ótima qualidade física do solo sob o sistema de manejo adotado. Houve boa correlação entre o índice S com os atributos físicos analisados, mostrando ser esta uma boa ferramenta a ser utilizada no diagnóstico da qualidade estrutural do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índice de qualidade do solo. Conservação do solo e da água. Física do solo.

## INTRODUÇÃO

A degradação da estrutura do solo pode comprometer o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produção agrícola (RICHART et al., 2005). Segundo Dexter (2004a), quando se melhora a qualidade física de determinado solo, indiretamente ocorre a melhoria de suas condições biológicas e químicas, uma vez que esses aspectos de qualidade do solo são interdependentes.

Vários são os sintomas de má qualidade física do solo, como baixa aeração, baixa infiltração de água e sistema radicular reduzido, refletindo a degradação da estrutura do solo (DEXTER, 2004a). Entre as ferramentas utilizadas para a quantificação da degradação da qualidade física do solo, a densidade e a porosidade são as mais comumente utilizadas.

Atualmente o índice S, proposto por Dexter (2004a, 2004b, 2004c), tem se destacado como uma nova ferramenta de avaliação estrutural do solo, e é definido pela declividade da curva característica de retenção da água do solo em seu ponto de inflexão. Este índice vem sendo aceito como parâmetro indicador da qualidade estrutural de solos por representar a distribuição do tamanho de poros de maior frequência, o que torna possível a comparação direta dos efeitos de diferentes práticas de manejo em diferentes solos.

Segundo Dexter (2004a), alto valor de S indica forte presença de poros estruturais e revela a boa qualidade física do solo. O limite de qualidade estrutural de solos ocorre no valor aproximado de  $S = 0,035$ . Nenhuma mudança brusca nos atributos do solo se dá neste valor, mas ele é consistente com a experiência de campo em diferentes solos. Por outro lado, valores de  $S < 0,020$  indicam predomínio de porosidade textural, o que está associado a piores condições físicas do solo.

Objetivando avaliar a qualidade física do solo sob manejo em sistema de plantio direto em longa duração com base no índice S, Cavalieri et al. (2009) observaram que um Rhodic Ferrasol solo apresentou boas condições de estrutura em todas as camadas estudadas, com valores de S acima de 0,035.

Andrade e Stone (2008) correlacionaram o índice S à densidade e porosidade de diferentes solos do cerrado com diferentes texturas e concluíram que este índice é adequado como indicador da qualidade física dos mesmos. Foi verificado pelos autores que o valor limítrofe de 0,045 mostrou-se apropriado para divisão entre solos com boa qualidade estrutural e solos com tendência a se tornar degradados, enquanto valores de S abaixo de 0,025 indicam solos degradados fisicamente.

Segundo Li et al. (2011), atributos indicadores da qualidade física do solo estão inter-relacionados porque todos refletem a estrutura do solo, mas a medição de todos esses atributos pode consumir muito tempo, e portanto, é desejável obter um parâmetro simples para avaliação global. O parâmetro S, segundo os autores, pode servir a esse propósito, mas a teoria precisa ser validada em solos submetidos a práticas de manejo diferentes. Assim, Li et al. (2011), avaliando o índice S e outros atributos indicadores da qualidade física de um Ultisol em função de diferentes manejos na camada de 0 a 5 cm, observaram correlação entre o índice S e os demais atributos, e concluíram que esse índice pode ser usado como indicador global da qualidade física para solos submetidos a diferentes métodos de preparo do solo, uso de cobertura morta e tráfego de máquinas.

Este estudo teve por objetivo verificar a adequação do índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho Distrófico da região do cerrado cultivado com cafeeiro sob manejo intensivo do solo, assim como sua correlação com os parâmetros físicos densidade e porosidade do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área experimental deste estudo está localizada no Município de São Roque de Minas, na Região Fisiográfica do Alto São Francisco, MG. A classificação climática segundo Köppen, para a região, é do tipo Cwa, com clima temperado brando com verão quente e úmido, e inverno seco. Os resultados de textura e do teor de óxidos obtidos por ataque sulfúrico para o solo estudado e os índices Ki e Kr estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Teores das frações argila, silte e areia e teores de óxidos obtidos por ataque sulfúrico, e índices Ki e Kr para os horizontes Ap e Bw do Latossolo Vermelho distrófico em estudo.

Horizonte	Fração			Teor de óxidos			Ki	Kr	
	Argila	Silte	Areia	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	----- g kg <sup>-1</sup> -----								
Ap	763	198	39	102	355	157	1,32	0,49	0,38
Bw	819	148	33	105	392	169	0,98	0,46	0,36

Tendo em vista os valores dos índices Ki e Kr menores que 0,75 (Tabela 1), o Latossolo em estudo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico gibbsítico-oxídico de textura muito argilosa, sendo, portanto, extremamente intemperizado.

Este solo vem sendo cultivado com cafeeiro, com utilização de braquiária nas entre linhas como planta de cobertura do solo. O uso com cafeicultura se iniciou em 2008, formando-se a lavoura do presente experimento. Antes da cafeicultura, o solo tinha como uso uma pastagem, em más condições de manejo. Com o início desse experimento, reformou-se a pastagem, no entanto foram demarcadas as linhas de plantio para o cafeeiro. A lavoura cafeeira foi implantada e vem sendo manejada segundo sistema intensivo de cultivo, que consiste na aplicação de altas doses de gesso (7 kg m<sup>-1</sup>) na linha da cultura, cultivo controlado de braquiária na entrelinha do cafeeiro, amontoa na linha com material proveniente da entrelinha, implantação da lavoura no início da primavera, espaçamento 2,5 x 0,65 m, correção da fertilidade do solo, preparo do sulco de plantio até 60 cm de profundidade e adoção de um rigoroso programa de

monitoramento da nutrição das plantas via análise foliar, duas ou três vezes ao ano. Maiores detalhes sobre o sistema de manejo adotado podem ser encontrados em Serafim (2011).

As análises do material de solo foram realizadas no Laboratório de Física e Conservação do Solo e Água na Universidade Federal de Lavras. Para tanto, foram coletadas amostras com estrutura preservada, na posição linha da cultura, nas profundidades 5, 20, 40, 60 e 80 cm e posição entrelinha da cultura, nas profundidades 5, 10, 20, 40 e 65 cm com quatro repetições. Nestas amostras foi determinado o volume total de poros (VTPd) como sendo igual à umidade de saturação (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e na unidade de sucção estando as amostras submetidas à tensão de -6 kPa foi determinada a microporosidade (Micro), (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). Por diferença entre VTP e Micro foi calculada a macroporosidade (Macro), (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>); a densidade do solo (Ds) foi determinada com base na relação entre massa e volume, expresso em Mg m<sup>-3</sup> (EMBRAPA, 1997).

As curvas de retenção de água foram ajustadas empregando-se o modelo de Van Genuchten (1980) com restrição de Mualem [ $m = 1 - (1/n)$ ], mediante o software SWRC (DOURADO

NETO et al., 2001). Para cálculo do parâmetro S empregou-se a Equação 1, apresentada por Dexter (2004a) que é utilizada quando o ajuste é feito pelo modelo de Van Genuchten (1980).

$$S = -n(\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) [1 + 1/m]^{-(1+m)} \quad \text{equação(1)}$$

Onde:

S = valor da inclinação da CRA no seu ponto de inflexão;

$\theta_{\text{res}}$  = conteúdo de água residual ( $\text{g g}^{-1}$ )

$\theta_{\text{sat}}$  = conteúdo de água saturado ( $\text{g g}^{-1}$ )

m e n = parâmetros empíricos da equação

Foram feitas análises de correlação de Pearson e regressão linear entre os valores de índice S obtidos com os atributos físicos Ds, VTPd, Micro e Macro.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições. Os

dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos valores comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade, com o auxílio do aplicativo computacional SISVAR (FERREIRA, 2000).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados obtidos pela análise de variância e pelo teste de Scott Knott para a posição linha do cafeeiro, observou-se diferença significativa entre as camadas do solo, particularmente para os atributos densidade e índice S, sendo que os resultados das camadas subsuperficiais (40, 60 e 80 cm) se apresentaram superiores para índice S e inferiores para Ds em relação àqueles das camadas superficiais (5 e 20 cm) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resultados dos parâmetros físicos densidade, porosidade e índice S avaliados na linha de cafeeiros, em um Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiro na área da Região Fisiográfica do Alto São Francisco (MG).

Profundidade	Ds <sup>(1)</sup>	VTPd <sup>(2)</sup>	Micro <sup>(3)</sup>	Macro <sup>(4)</sup>	Índice S <sup>(5)</sup>
----- cm -----	---- Mg m <sup>-3</sup> ----	----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			
5	0,884 a	0,675 a	0,458 a	0,217 a	0,131 b
20	0,896 a	0,663 a	0,447 a	0,216 a	0,124 b
40	0,823 b	0,647 a	0,439 a	0,208 a	0,169 a
60	0,800 b	0,689 a	0,415 b	0,274 a	0,159 a
80	0,789 b	0,642 a	0,411 b	0,232 a	0,172 a

<sup>(1)</sup>Densidade do solo. <sup>(2)</sup>Volume total de poros determinado. <sup>(3)</sup>Microporosidade. <sup>(4)</sup>Macroporosidade. <sup>(5)</sup>Índice S. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott 5% de probabilidade.

Verificou-se correlação negativa ( $r = -0,75$ ) entre a Ds e o índice S, de forma que quando a Ds aumenta o índice S sofre uma redução, salientando a sensibilidade do índice S como indicador da mudança estrutural do solo, mesmo sendo esta muito pequena (Figura 1)

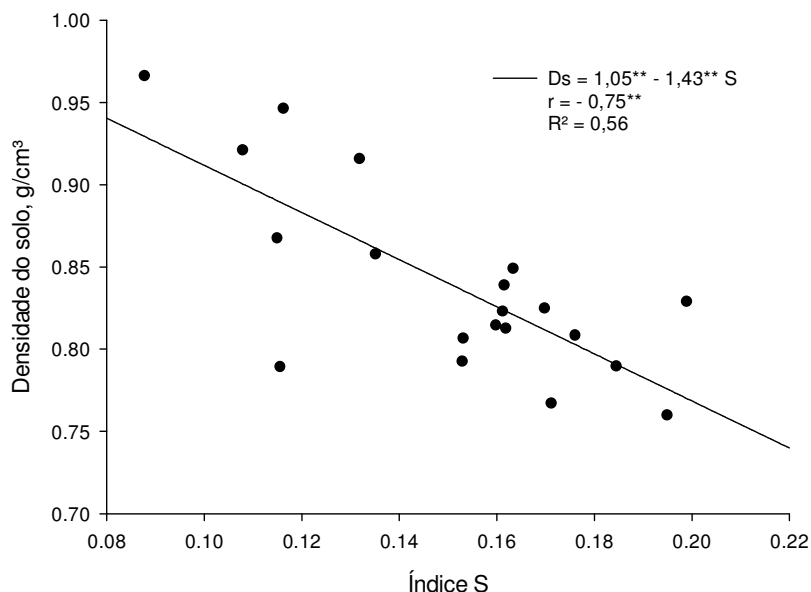
É de se destacar que, em todo o perfil analisado (Tabela 2), os valores de índice S são muito superiores ao valor de 0,045 sugerido por Andrade e Stone (2008) como indicador de boa qualidade estrutural de solos do cerrado, o que também pode ser interpretado com base nos baixos valores de Densidade do solo observados, salientando que os valores considerados limitantes para densidade do solo devem-se situar acima de  $1,28 \text{ Mg m}^{-3}$  para solos com textura muito argilosa (KLEIN; LIBARDI, 2000).

Maiores valores de índice S equivalem a maior inclinação da CRA (DEXTER, 2004a), indicando melhor distribuição de poros e maior

quantidade de poros com maior diâmetro, a exemplo do que se observa na tabela 2. Os baixos valores de densidade do solo encontrados em Latossolos argilosos gibsíticos são decorrentes da microagregação das partículas de argila o que promove aumento da porosidade e consequente diminuição da densidade do solo (FERREIRA et al., 1999; KLEIN, 2005; RESENDE et al., 2007), donde se depreende que o manejo adotado apesar de intensivo preserva esta característica na linha de cultivo.

Quanto à diferença estatística entre camada superficial e camada sub-superficial, salienta-se que o material que compõem a camada superficial existente na linha da cultura é proveniente da amontoa do gesso com material terroso vindo da entre linha (SERAFIM, 2011), o qual é desestruturado pela lâmina do trator, o que deve favorecer uma acomodação e adensamento no

material de solo, justificando os maiores valores de  $D_s$  e menores de índice S (Tabela 2).



**Figura 1.** Correlação e regressão linear entre densidade do solo e índice S para as profundidades de 5, 20, 40, 60 e 80 cm na linha de cultivo do cafeeiro manejo sob sistema conservacionista de manejo.

Segundo a equação de correlação entre  $D_s$  e índice S para solos muito argilosos, apresentada por Andrade e Stone (2009), os valores de  $D_s$  de  $0,79 \text{ Mg m}^{-3}$  e  $0,89 \text{ Mg m}^{-3}$ , mínimo e máximo respectivamente (Tabela 2) deveriam corresponder a valores de S de 0,147 e 0,126. Entretanto, como se observa (Tabela 2), os valores de índice S encontrados no presente trabalho (0,179 e 0,124) são muito próximos do determinado pela equação e servem para validar a mesma.

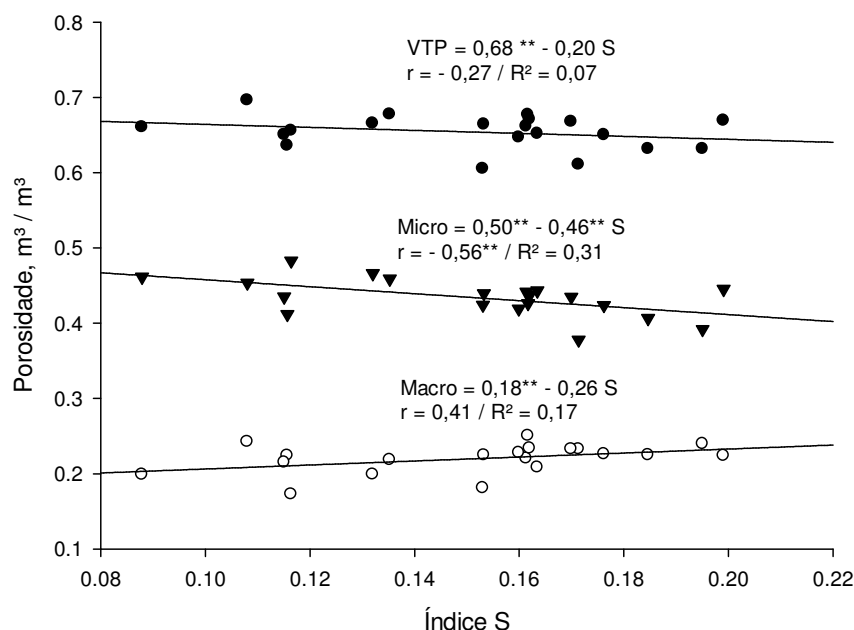
Contrastando com o sistema de manejo aqui avaliado, em outra situação de adoção de sistema de manejo intensivo Cunha et al. (2011) verificaram que em Latossolo Vermelho distrófico de textura franco-argilosa o uso para a produção agrícola resultou em modificações drásticas nos seus atributos físicos Densidade do Solo, Resistência à Penetração e Macroporosidade, o que refletiu em reduções no índice S para valores abaixo de 0,025, na maioria das situações de cultivo para a camada de 0,10–0,20 m. Os autores salientaram que mesmo na condição de pousio temporário os valores de S não voltaram a ultrapassar 0,045, o que demonstra a importância de discriminação dos sistemas de manejo intensivo que vem sendo adotados no Brasil.

Salienta-se ainda que no presente estudo, em todas as profundidades do solo estudado, a VTP foi muito superior a  $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e os valores de macroporosidade encontrados foram o dobro do sugerido por Andrade e Stone (2009) como não limitantes ao melhor desenvolvimento do sistema

radicular (Tabela 2). Como existe estreita relação entre porosidade do solo, qualidade física do solo e crescimento radicular (Watanabe et al., 2002; Argenton et al., 2005), sugere-se ausência de impedimento físico no solo na linha da cultura, o que é fundamental para o melhor desenvolvimento do cafeeiro.

Observou-se, ainda, que a macroporosidade apresentou uma correlação positiva com o índice S (Figura 2), corroborando com os resultados observados por Stone et al. (2005) em seus estudos com um Latossolo Vermelho Distrófico sob vegetação de cerrado.

Na posição da entrelinha de cultivo do cafeeiro, observando os valores de  $D_s$ , Macro e Microporosidade do solo (Tabela 3) observa-se que somente a profundidade de 65 cm diferiu das demais profundidades (5, 10, 20 e 40 cm), sugerindo que esta camada preserva a estrutura típica deste solo. Nas profundidades superficiais observam-se maiores valores de densidade do solo e menores de macroporosidade, associados aos valores mais baixos de S o que evidencia o efeito do manejo que tem sido empregado na entrelinha. Salienta-se, entretanto, que estes não são valores limitantes, visto que estão bem distantes dos níveis considerados críticos para esses atributos como já salientado anteriormente, sugerindo que o manejo da braquiária nas entrelinhas da cultura do café vem minimizando os efeitos deletérios das operações mecanizadas.



**Figura 2.** Correlação e regressão linear entre porosidade total (VTP), macro e microporosidade do solo e índice S para as profundidades de 5, 20, 40, 60 e 80 cm na linha de cultivo do cafeeiro sob sistema conservacionista de manejo.

**Tabela 3.** Resultados dos parâmetros físicos densidade, porosidade e índice S avaliados na entrelinha de um Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiro na área da Região Fisiográfica do Alto São Francisco (MG).

Profundidade	Ds <sup>(1)</sup>	VTPd <sup>(2)</sup>	Micro <sup>(3)</sup>	Macro <sup>(4)</sup>	Índice S <sup>(5)</sup>
----- cm -----	---- Mg m <sup>-3</sup> ----	----- m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			
5	0,955 a	0,655 b	0,468 a	0,186 b	0,098 c
10	0,988 a	0,663 b	0,483 a	0,180 b	0,102 c
20	0,967 a	0,693 a	0,493 a	0,199 b	0,110 c
40	0,924 a	0,700 a	0,475 a	0,225 b	0,133 b
65	0,810 b	0,696 a	0,420 b	0,275 a	0,170 a

<sup>(1)</sup>Densidade do solo. <sup>(2)</sup>Volume total de poros determinado. <sup>(3)</sup>Microporosidade. <sup>(4)</sup>Macroporosidade. <sup>(5)</sup>Índice S. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott 5% de probabilidade.

O possível efeito positivo da braquiária na entrelinha está relacionado à boa cobertura do solo e principalmente à atuação do sistema radicular agressivo desta gramínea. Segundo estudos de Marochi (2009) as raízes desta gramínea são abundantes e finas podendo atingir uma profundidade superior a 1,5 m, sendo, portanto excelentes recicladoras de nutrientes, por buscar nutrientes em todo o volume do solo, além da contribuição por ocasião de sua decomposição, o que favorece o desenvolvimento da vida microbiana do solo pelo aumento da matéria orgânica, promovendo a agregação do solo.

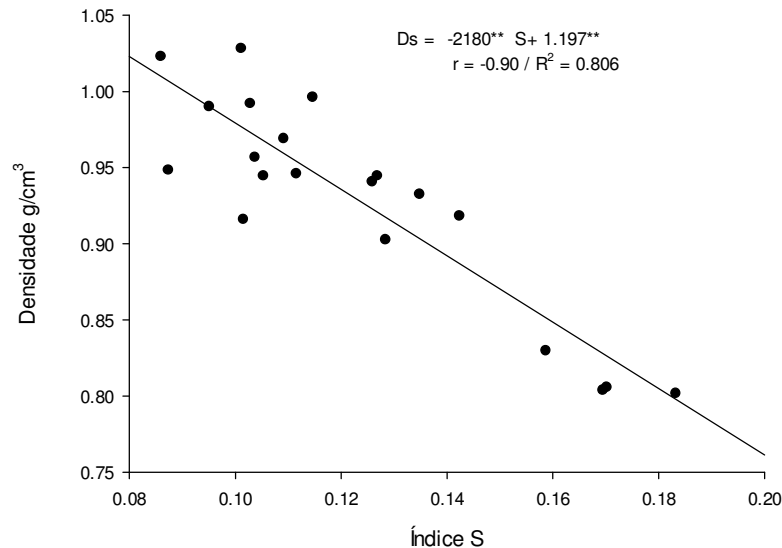
Avaliando o solo na linha e na entrelinha de plantio de milho em sistemas de plantio direto (PD)

e de preparo convencional do solo (PC), Tormena et al (2008), estudando a hipótese de que o S poderia ser utilizado como indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho distroférrico, verificaram maiores valores de S na linha, tanto em PD como em PC. Segundos os autores, o valor de S diminuiu com o aumento da densidade do solo, indicando a redução da qualidade física associada à compactação do solo. Os autores verificaram, ainda, que o valor de S = 0,035 foi correlacionado com a Ds = 1,16 Mg m<sup>-3</sup>, que é o valor densidade onde a resistência à penetração substitui o ponto de murcha permanente como limite inferior no Intervalo hídrico ótimo (IHO) para este solo, mostrando que o

índice S e o IHO apresentaram funcionalmente avaliações similares para a qualidade física do solo.

Para confirmar o que vem sendo discutido, verifica-se (Figura 3) forte correlação negativa entre

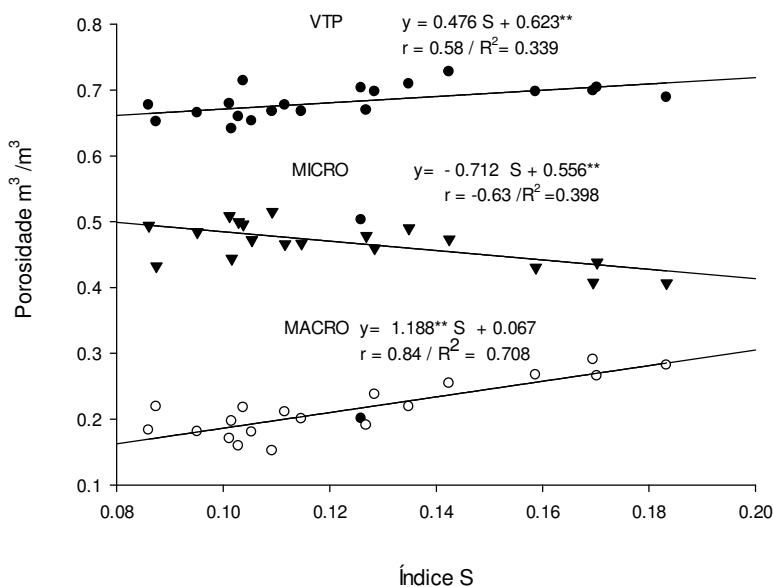
densidade do solo e índice S, salientando a redução da qualidade estrutural do solo causada pelo adensamento do mesmo.



**Figura 3.** Correlação e regressão linear entre densidade do solo e índice S para as profundidades de 5, 10, 20, 40 e 65 cm na entrelinha de cultivo do cafeeiro manejo sob sistema conservacionista de manejo.

Diferentemente do que foi observado na linha da cultura, na entrelinha o índice S está fortemente relacionado com o espaço poroso do solo (Figura 4), o que facilita a interpretação de

mudanças estruturais e corrobora com os resultados obtidos por Andrade e Stone (2009) e Juhász et al. (2007).



**Figura 4.** Correlação e regressão linear entre porosidade total (VTP), macro e microporosidade do solo e índice S para as profundidades de 5, 10, 20, 40 e 65 cm na entrelinha de cultivo do cafeeiro manejo sob sistema conservacionista de manejo.

Ressalta-se a melhor estratificação do perfil pelo índice S em relação aos outros atributos, mostrando ser este um indicador preciso na detecção de sinais de degradação da estrutura, conforme

salientado por Dexter (2004a), além da boa correlação com a Ds, macro, micro e VTd (figuras 3 e 4) corroborando com os resultados de Li et al. (2011), Cunha et al. (2011).

## CONCLUSÕES

Em todas as condições avaliadas os valores de índice S foram muito superiores a 0,045 indicando ótima qualidade física do solo sob o sistema de manejo adotado.

Houve correlação entre o índice S e os demais atributos físicos avaliados.

O índice S é uma boa ferramenta no diagnóstico da qualidade estrutural do solo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de fomento FAPEMIG E CNPq pelo apoio financeiro.

**ABSTRACT:** In this study we verified the adequacy of use of the Dexter S index in the diagnosis of structural quality of a Cerrado Oxisol cultivated with coffee in management system that adopts the application of high doses of gypsum in row culture, mechanized cultivation and management of *Brachiaria* in the interrows, and preparation of the furrow 60 cm deep, among other techniques of intensive management. The S was correlated with the density and porosity of the soil at depths of 5, 20, 40 and 80 cm along the row of coffee, and 5, 10, 20, 40, 65 cm between rows of coffee. For the determination of the S at different depths and sampling sites were built water retention curves, using samples with structure preserved. The values of this physical attribute were greater than 0.045 indicating good soil physical quality under the management system adopted. There was good correlation between the S with the physical attributes analyzed, showing that this is a good tool to use in the diagnosis of structural soil quality.

**KEYWORDS:** Index of soil quality. Soil and water conservation. Soil physics.

## 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**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 382-388, dez. 2009.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 411-418, dez. 2009.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p.425-435, mai-jun. 2005.
- CAVALIERI, K. M. V.; SILVA, A. P. DA; TORMENA, TORMENA, C.A; LEO, T.P; DEXTER, A.R.; HÅKANSSON, I. Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 1, p. 158-164, abr. 2009.
- CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J.A.A.; FERREIRA, E.P.B; DIDONET, A.D.; LEANDRO, W.M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho . I - Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 589-602, mar-abr. 2011.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 201-214, jun. 2004a.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part II. Friability, tillage, filth and hard-setting. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 215-225, jun. 2004b.
- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, Amsterdam, v. 120, p. 227-239, jun. 2004c.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. **Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo Van Genuchten**. Soil Water Retention Curve, SWRC (version 3,00 beta). Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar. 2000. p.225-258.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURTI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n.3, p. 515-524, 1999.

JUHÁSZ, C. E. P.; COOPER, M.; CURSI, P. R.; KETZER, A. O.; TOMA, R. S. Savanna woodland soil micromorphology related to water retention. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 4, p. 344-354, jul-ago. 2007.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 959-964, 2000.

KLEIN, V. A. **Propriedades do solo e manejo da água em ambientes protegidos com cultivo de morangueiro e figueira**. Passo Fundo: Ed. UPF, 2005. 61 p.

LI, L.; CHAN, K. Y.; NIU, Y.; OATES, A; DEXTER, A.R; HUANG, G. Soil physical qualities in an Oxic Paleustalf under different tillage and stubble management practices and application of S theory. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 113, n. 2, p. 82-88, jun. 2011.

MAROCHI, A. I.; BORGES, J. H.; SCALEA, M. Brachiaria ruziziensis é alternativa de cobertura de solo para o sistema de Plantio Direto no Cerrado. **Agricultura e Meio Ambiente**. 3ª ed, ano I, 2005.

RESENDE, M; CURTI, N; REZENDE, S. B.; CORREA, G. F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. Lavras: UFLA, 2007.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina**, Londrina, v.26, p.321-344, 2005.

SERAFIM, M. E. **Sistema conservacionista e de manejo intensivo na melhoria de atributos do solo para a cultura do cafeeiro**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Lavras, UFLA: Lavras, 2011.

STONE, L. F.; BALBINO, L. C.; CUNHA, E. Q. Índice S como indicador da qualidade física do solo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 34, 2005, Canoas. **Resumos...** Canoas: Universidade Luterana do Brasil, 2005.

TORMENA, C. A; SILVA, Á. P. D.; IMHOFF, S. D. C.; DEXTER, ANTHONY ROGER. Quantification of the soil physical quality of a tropical oxisol using the S index. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 1, p. 56-60, jan-fev. 2008.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

WATANABE, S. H.; TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; PINTO, J. C.; COSTA, A. C. S.; MUNIZ, A. S. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico influenciadas por sistemas de preparo do solo utilizados para implantação da cultura da mandioca. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.24, p.1255-1264, 2002.