

**USO DO ÍNDICE S NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICO-HÍDRICA DE SOLOS DO CERRADO MATOGROSSENSE**Debora Curado Jardim¹ & Ricardo Santos Silva Amorim²¹ Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Agricultura Tropical pela UFMT. E-mail: debora_jar@hotmail.com² Engenheiro Agrônomo, Professor Adjunto do Departamento de Solos e Engenharia Rural da Faculdade de Agronomia e Zootecnia da FAZ/UFMT. E-mail: rsamorim@ufmt.br**Palavras-chave:**

índice de qualidade do solo
estrutura
uso e manejo do solo

RESUMO

A qualidade físico-hídrica do solo influencia o potencial de uso, a produtividade e a sustentabilidade dos agroecossistemas, sendo seu estudo necessário para fornecer informações sobre o manejo do solo e assegurar a tomada de decisões para uma melhor utilização desse recurso. Para avaliar a qualidade físico-hídrica dos solos tem sido proposto o “índice S”, baseado no ponto de inflexão da curva de retenção da água no solo. Objetivou-se com esse trabalho avaliar a qualidade físico-hídrica de solos do cerrado matogrossense submetidos a diferentes usos e manejo do solo. Para a realização do estudo foram coletadas amostras deformadas e indeformadas em 10 localidades da região Centro Sul do estado de Mato Grosso, contemplando quatro classes texturais e cinco classes de solos. Essas amostras foram utilizadas para elaboração da curva de retenção de água e demais atributos físico-hídricos e Carbono dos solos estudados. O índice S foi estimado a partir da curva de retenção de água, coincidindo com o valor de sua inclinação no ponto de inflexão. O índice S mostrou variação entre os sistemas de uso do solo e foi sempre superior ao valor considerado limite para a boa qualidade física do solo. Houve alta correlação entre o índice S com os atributos físico-hídricos analisados, mostrando ser esta uma boa ferramenta a ser utilizada no diagnóstico da qualidade estrutural do solo.

Keywords:

Soil quality index
structure
soil use and management.

USE OF S INDEX IN THE EVALUATION OF THE PHYSICAL-HYDRIC QUALITY IN SOIL SAMPLES FROM THE CERRADO IN MATO GROSSO STATE**ABSTRACT**

The physical-hydric quality of the soil influences the potential use, productivity and sustainability of agroecosystems. The evaluation of this quality is important to provide information on soil management and to ensure the correct decision making towards a better use of this resource. In order to evaluate the physical-hydric quality of the soils, the S index has been proposed based on the inflection point of the water retention curve in the soil. The objective of this study was to evaluate the physical-hydric quality of soil samples from the cerrado region in the state of Mato Grosso submitted to different uses and management. Deformed and undisturbed samples were collected in 10 locations in the Central South region in Mato Grosso, including four textural classes and five soil classes. These samples were used to obtain the water retention curve and other physical-hydric and carbon attributes of the studied soils. The S index was estimated from the water retention curve and the results coincided with the value of the slope at the inflection point. The S index showed variation among the different soil use systems assessed and was always higher than the limit value considered as good soil physical quality. There was a high correlation between the S index and the physical-hydric qualities analyzed, therefore this index is a good tool to be used in the diagnosis of soil structural quality.

INTRODUÇÃO

O termo qualidade do solo refere-se à capacidade do solo de sustentar a produtividade biológica dentro dos ecossistemas naturais ou manejados, mantendo o equilíbrio ambiental e promovendo a saúde de plantas, animais e do próprio homem (DORAN & PARKIN, 1994). Comumente, a qualidade do solo é analisada sobre três aspectos: físico, químico e biológico, sendo estes importantes nas avaliações da extensão da degradação ou melhoria do solo e para identificar os manejos mais adequados visando a sustentabilidade dos agroecossistemas (DEXTER, 2004a).

A qualidade do solo, sob o ponto de vista físico, está associada à sua capacidade de infiltração, retenção e disponibilização de água às plantas; à sua resiliência e resistência à degradação quando manejado; facilidade do fluxo de massa e energia do ambiente e possibilita o crescimento das raízes (REICHERT *et al.*, 2003). Logo, a qualidade física assume importância na avaliação do grau de degradação do solo e na identificação de práticas de uso e manejo sustentáveis (ANDRADE & STONE, 2009).

Atributos do solo, tais como a densidade, porosidade total, distribuição e tamanho dos poros, intervalo hídrico ótimo, a condutividade hidráulica, a estabilidade de agregados, a resistência do solo à penetração, têm sido comumente utilizados como indicadores de qualidade física uma vez que são facilmente alterados pelo uso e manejo do solo, são de fácil determinação e de baixo custo de obtenção das medidas (CAMPOS *et al.*, 1995; DORAN, 1996; STEFANOSKI *et al.* 2013).

Entretanto, é desejável obter um índice simples que integre todos esses atributos para a avaliação da qualidade física do solo, como a curva de retenção de água do solo e o índice S (SANTOS *et al.*, 2011). Atualmente, o índice S, proposto por Dexter (2004a, 2004b, 2004c), tem se destacado como uma nova técnica de avaliação da qualidade física do solo. O índice “Slope” (S) é definido como a declividade da curva característica de retenção da água do solo em seu ponto de inflexão. Esse índice é considerado um 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 sobre a qualidade física do solo (ANDRADE *et al.*, 2009; REYNOLDS *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2012; STEFANOSKI *et al.* 2013).

Segundo Dexter (2004a), fatores relacionados com o manejo do solo, que influenciam a distribuição do tamanho de poros, refletem em mudanças nos valores de S e, portanto, na qualidade física do solo. Esse autor propõe valores de $S \geq 0,035$ para áreas com condições favoráveis para o crescimento das raízes das plantas e valores de $S < 0,020$ indicam condições físicas com alta restrição ao crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas. Maia (2011) afirma que o índice S apresenta sensibilidade para identificar a degradação da qualidade física do solo em diferentes sistemas de manejo.

Consensa *et al.*, (2010), avaliando a relação entre o índice S e alguns atributos físico-hídricos de diferentes solos do Rio Grande do Sul, concluíram que esse índice se situou acima do limite de 0,045 para a maioria dos solos avaliados.

Andrade & Stone (2009) correlacionaram o índice S à densidade e porosidade de diferentes solos do cerrado com diferentes texturas e concluíram que esse índice é adequado como indicador da qualidade física dos mesmos. Silva *et al.*, (2012), verificando a adequação do uso do índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado cultivado com café sob sistema de manejo intensivo concluíram que os valores de índice S foram superiores a 0,045 indicando ótima qualidade física do solo sob o sistema de manejo adotado. Além disso, observaram correlação significativa entre o índice S e alguns atributos físicos do solo (densidade - correlação negativa; macroporosidade - correlação positiva; microporosidade - correlação negativa), que possibilitou o estabelecimento de equações lineares tendo o índice S como variável preditora desses atributos físicos do solo. Dessa forma, fica evidenciada a utilização do índice S como uma boa ferramenta para diagnóstico da qualidade estrutural do solo.

Li *et al.* (2011), avaliando o índice S e outros atributos indicadores da qualidade física de um Argissolo sob diferentes manejos, observaram correlação positiva e negativa entre o índice S e os teores de matéria orgânica e densidade do solo,

respectivamente, e concluíram que esse índice pode ser usado como indicador da qualidade física para solos submetidos a diferentes métodos de preparo do solo, uso de cobertura morta e tráfego de máquinas.

Portanto, os resultados publicados até o momento mostram que o índice S é um indicador sensível das condições estruturais que o solo apresenta em função do seu uso e manejo.

Diante do exposto e supondo que o índice S é capaz de expressar alterações na qualidade do solo em função das práticas de uso e manejo adotadas, objetivou-se, com esse trabalho, avaliar a qualidade físico-hídrica de solos do cerrado matogrossense submetidos a diferentes usos e manejo do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com solos da região Centro-Sul do estado do Mato Grosso, Brasil, sob o bioma cerrado. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Tropical (Aw) com duas estações bem definidas quanto à umidade, sendo uma chuvosa (outubro a março) e outra seca (abril a setembro), com precipitação média anual entre 1500 a 1600 mm. Durante a estação seca, a umidade relativa média diária é de aproximadamente 55%, podendo atingir 15% ao meio-dia. A temperatura média anual é de aproximadamente 22 °C, com pequenas variações sazonais (JACKSON et al., 1999).

A caracterização dos atributos físico-hídricos

(macroporosidade – MA, microporosidade – MI, porosidade total – PT, densidade de partículas – Dp e densidade do solo – Ds) das áreas estudadas (Tabela 2) foi obtida a partir de amostras de solo com estrutura preservada, em cilindros metálicos (volume de 100 cm³), com auxílio do amostrador de Kopeck, e amostras de solo com estrutura alterada, com auxílio do trado holandês.

Esse estudo foi realizado com amostras de solo coletadas em 10 localidades da região Centro-Sul do Estado de Mato Grosso, sendo amostradas três profundidades por localidade com três repetições, totalizando 90 amostras. Contemplando três classes texturais, cinco classes de solos e seis usos do solo, conforme apresentado no Tabela 1.

Para a avaliar a curva de retenção de água e a umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada, em cilindros metálicos (volume de 100 cm³), com auxílio do amostrador de Köpeck. Amostras com estrutura alterada também foram coletadas nas mesmas camadas, com auxílio de um trado holandês, para determinação da umidade nos potenciais menores que - 500 kPa, em psicrômetro (WP4 – Dewpoint Potential Meter).

As amostras com estrutura preservada foram saturadas por capilaridade e submetidas aos potenciais matriciais de -2, -4 e -6 kPa em mesa de tensão, sendo o potencial de -6 kPa considerado o limite entre a macroporosidade e a microporosidade (KLUTE, 1986). Posteriormente, as amostras

Tabela 1. Classificação dos solos e respectivas características de uso do solo das áreas estudadas

Uso do solo	Classe	Textura	Latitude	Longitude
Cana-de-açúcar	Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico	média	11°07'35"	51°59'23"
Pastagem Natural	Argissolo Vermelho distrófico típico	argilosa	15°14'48"	55°08'32"
Pastagem Plantada	Cambissolo Háptico Tb distrófico típico	média	14°41'02"	56°30'24"
Pastagem brachiária	Latossolo Amarelo distrófico típico	média	15°09'05"	54°51'25"
Soja	Latossolo Vermelho distrófico típico	argilosa	14°12'04"	56°29'14"
Soja-Milho	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico	argilosa	15°18'30"	55°09'31"
Soja	Neossolo Quartzarênico órtico típico	média	15°13'13"	54°46'18"
Pastagem Plantada	Neossolo Quartzarênico órtico típico	média	15°16'39"	54°56'58"
Sem uso agrícola	Neossolo Quartzarênico órtico típico	arenosa	14°03'49"	56°05'08"
Pastagem Natural	Neossolo Quartzarênico órtico típico	arenosa	14°08'17"	56°23'17"

Tabela 2. Dados descritivos dos atributos físico-hídricos da camada de solo avaliada em cada localidade com os seus respectivos usos.

Uso do solo		AT	AF	AG	Silt	Arg	AN	Dp	Ds	PT	MI	MA
		g kg ⁻¹			g cm ⁻³			m ³ m ⁻³				
Cana-de-açúcar	média ponderada	25.00	23.16	2.03	42.00	33.00	10.81	2.58	1.40	0.46	0.33	0.13
	máxima	26.51	24.45	2.10	44.20	42.65	14.50	2.61	1.43	0.48	0.34	0.17
	mínima	21.47	19.72	1.75	35.88	29.28	9.81	2.58	1.33	0.45	0.32	0.11
Pastagem natural	média ponderada	18.00	13.22	4.56	32.00	50.00	8.38	2.64	1.05	0.60	0.35	0.24
	máxima	19.74	14.02	5.72	33.85	51.98	18.25	2.65	1.07	0.61	0.39	0.30
	mínima	16.99	12.30	3.39	31.03	48.88	2.21	2.62	1.03	0.60	0.31	0.21
Pastagem plantada	média ponderada	77.00	50.93	26.52	6.00	17.00	5.87	2.57	1.48	0.42	0.27	0.15
	máxima	78.50	53.07	27.81	6.38	17.98	6.65	2.58	1.52	0.43	0.31	0.19
	mínima	75.96	48.15	23.97	5.69	15.82	4.84	2.56	1.46	0.41	0.24	0.12
Pastagem Brachiaria	média ponderada	91.00	49.64	41.73	2.00	6.00	1.86	2.63	1.55	0.40	0.17	0.23
	máxima	91.70	51.08	44.08	2.38	7.42	2.90	2.65	1.58	0.41	0.20	0.26
	mínima	91.01	46.93	40.62	1.57	5.98	1.20	2.61	1.53	0.40	0.15	0.21
Soja	média ponderada	24.00	11.37	13.10	27.00	49.00	20.66	2.60	1.20	0.54	0.38	0.16
	máxima	27.90	13.58	14.32	33.38	59.92	23.27	2.63	1.22	0.56	0.40	0.20
	mínima	20.02	8.77	11.26	20.06	38.72	17.83	2.58	1.15	0.53	0.35	0.13
Soja - Milho	média ponderada	20.00	11.23	8.46	34.00	46.00	10.07	2.55	1.11	0.57	0.42	0.15
	máxima	21.12	12.23	8.89	36.06	49.98	12.77	2.62	1.20	0.61	0.47	0.26
	mínima	17.95	10.15	7.80	32.07	42.82	2.49	2.50	1.01	0.53	0.35	0.10
Soja	média ponderada	86.00	66.25	19.88	4.00	10.00	41.46	2.60	1.58	0.39	0.27	0.12
	máxima	87.55	66.90	20.65	4.37	11.55	3.83	2.62	1.65	0.41	0.31	0.17
	mínima	84.15	65.43	17.96	3.35	8.08	2.56	2.59	1.53	0.37	0.23	0.10
Pastagem plantada	média ponderada	87.00	60.17	26.68	3.00	10.00	2.92	2.59	1.60	0.38	0.23	0.14
	máxima	87.33	63.03	28.63	3.36	10.78	3.82	2.61	1.67	0.40	0.26	0.16
	mínima	85.87	58.70	23.82	3.19	9.48	2.36	2.58	1.54	0.35	0.21	0.14
Sem uso agrícola	média ponderada	95.00	74.24	20.78	1.00	4.00	1.83	2.64	1.46	0.45	0.13	0.32
	máxima	95.79	75.05	20.81	1.63	5.08	2.42	2.64	1.54	0.47	0.14	0.34
	mínima	93.29	72.48	20.74	1.26	2.95	1.35	2.63	1.39	0.42	0.12	0.28
Pastagem natural	média ponderada	9.00	26.28	68.00	58.00	1.00	4.00	2.59	2.41	1.42	0.45	0.11
	máxima	96.04	27.10	70.46	1.23	5.02	2.81	2.64	1.62	0.53	0.15	0.38
	mínima	93.75	24.87	66.65	1.02	2.82	1.60	2.58	1.21	0.37	0.08	0.29

AT – areia total; AF – areia fina; AG – areia grossa; Silt – silte; Arg – argila; AN – argila natural; Dp – Densidade de partículas; Ds – densidade do solo; PT- porosidade total; MI- microporosidade; MA – macroporosidade. Fonte: Amorim et al. (dados não publicados).

foram submetidas aos potenciais de -33 e -100 kPa, em Câmara de Richards (KLUTE, 1986). Ao final, as amostras foram mantidas em estufa a 105 °C até atingirem peso constante.

A umidade gravimétrica para os potenciais de -500, -1000 e -1500 kPa foi analisada utilizando amostras com estrutura deformada, por meio de um psicrômetro (WP4 – Dewpoint Potential Meter). A umidade gravimétrica determinada foi multiplicada

pela densidade do solo correspondente à camada amostrada para obtenção da umidade volumétrica.

As curvas de retenção de água, com base na umidade volumétrica, foram ajustadas pela obtenção dos parâmetros do modelo de Van Genuchten (1980), por meio de regressão não linear no programa computacional SPSS Statistics (versão 17.0).

A determinação do índice S foi estimada a

partir da curva de retenção de água, coincidindo com o valor de sua inclinação no ponto de inflexão. Essa inclinação foi obtida por meio da equação 1 proposta por Dexter (2004a) que se baseia nos parâmetros do modelo de Van Genuchten (1980) da curva de retenção de água no solo.

$$S = -n(\theta_{sat} - \theta_{res}) \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{-(1+m)} \quad (1)$$

em que,

m e n são parâmetros da equação de Van Genuchten (1980); e

θ_{sat} e θ_{res} são a umidade de saturação e a umidade residual, respectivamente. Apesar da equação resultar em um valor de S negativo, convencionou-se usar seu módulo para discussão dos resultados.

A análise estatística constou da análise multivariada, mas especificamente, a análise de agrupamento multivariada. Nessa técnica, utilizou-se o método do “vizinho mais próximo” como critério hierárquico de agrupamento, com medida de similaridade dada pela “distância euclidiana”. Foi realizada também a análise de correlação de Pearson entre o índice S e as variáveis macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade, textura e carbono orgânico do solo. Essas análises estatísticas foram processadas no software SPSS Statistics, versão 17.0

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do índice S ficaram superiores ao

valor (0,035) considerado por Dexter (2004a) como indicador de solo sem restrição ao crescimento radicular das plantas, independentemente do uso do solo (Tabela 3). O maior valor de S foi encontrado para as áreas sem uso agrícola e de pastagem natural, 0,297 e 0,181, respectivamente. O menor valor de S foi encontrado para área com cana-de-açúcar (0,037).

O maior valor S nas áreas sem uso agrícola e pastagem natural indica a melhor configuração de poros no solo e, portanto, melhores condições físico-hídricas para o crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas. Segundo Beutler et al. (2008), essas melhores condições físico-hídricas podem ser devido a melhor aeração, baixa resistência mecânica, ampla distribuição do tamanho dos poros ou retenção e disponibilidade de água.

Estudos realizados por Aratani et al. (2009), Streck et al. (2008), Marchão et al. (2007), Li et al. (2011) e Silva et al. (2012) observaram que o índice S foi capaz de expressar alterações na qualidade física do solo impostas pelos sistemas de uso e manejo do solo, sendo os valores de índice S observados, sempre superior ao valor considerado limite para a boa qualidade física do solo.

Pela análise de agrupamento multivariada entre os usos do solo (Figura 1) tem-se a formação de três grupos: O “Grupo I” composto pelas áreas com uso agrícola independente da classe de solo; o “Grupo II” constituído somente pela área sem uso agrícola; e o “Grupo III” ficou constituído somente pela área de pastagem natural. Observa-

Tabela 3. Valores médios de Índice S da camada de solo avaliada em cada localidade com os seus respectivos usos.

Uso do solo	Índice S	Desvio Padrão	CV%
Cana-de-açúcar	0,037	0,008	20,8
Pastagem natural	0,063	0,006	9,4
Pastagem plantada	0,068	0,005	8,1
Pastagem brachiaria	0,100	0,027	25,6
Soja	0,051	0,003	5,7
Soja – Milho	0,052	0,013	23,9
Soja	0,096	0,012	13,0
Pastagem plantada	0,094	0,013	13,7
Sem uso agrícola	0,297	0,059	22,3
Pastagem natural	0,181	0,104	53,6

se que as áreas sem uso agrícola e de pastagem natural são mais similares entre si. Isso se deve às alterações nos atributos físico-hídricos do solo (porosidade, densidade, curva de retenção de água) em decorrência da conversão de áreas não antropizadas em áreas agrícolas.

Estudos realizados por Aratani *et al.* (2009) corroboram com os resultados obtidos nessa pesquisa. Os autores estudaram propriedades relacionadas à qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico quando submetidos aos seguintes sistemas de manejo: sistema plantio direto irrigado, sistema plantio direto de sequeiro, integração lavoura-pecuária, plantio convencional e mata natural. Eles verificaram que a ação antrópica reduziu a qualidade do solo, sendo que as melhores condições estruturais do solo foram obtidas na área de mata, ou seja, a área de mata nativa apresentou melhor qualidade física do solo quando comparada às áreas submetidas à ação antrópica.

Marchão *et al.* (2007), avaliando oito tipos de manejo do solo em relação à área de vegetação natural (cerrado) em um Latossolo, verificaram que todos os sistemas de manejo sofreram um decréscimo significativo no valor de “S”. No

entanto, ficaram acima do valor proposto por Dexter como limitante, ou seja, houve alterações nas curvas de retenção de água e, conseqüentemente, mudanças na sua estrutura após a conversão em sistemas agrícolas.

A microporosidade, porosidade total, teores de argila e silte correlacionaram-se negativamente com o índice S para todos os usos de solo estudados (Tabela 4). A densidade do solo, macroporosidade, teores de areia e conteúdo de carbono orgânico correlacionaram-se positivamente com o índice S, o que indica uma relação direta do índice S com a porosidade estrutural do solo. Esses resultados corroboram com os observados por Andrade & Stone (2009), Aratani *et al.* (2009), Andrade *et al.* (2009).

A correlação negativa entre o índice S e os teores de argila e silte são diferentes aos resultados obtidos por Streck *et al.* (2008). Esses autores observaram não existir relação do valor de S com o teor de argila para os solos estudados. Assim como os resultados obtidos por Consensa *et al.* (2010), onde foi verificado que os teores de argila e de silte pouco afetam nos valores de índice S, pois este independe da porosidade textural (entre as

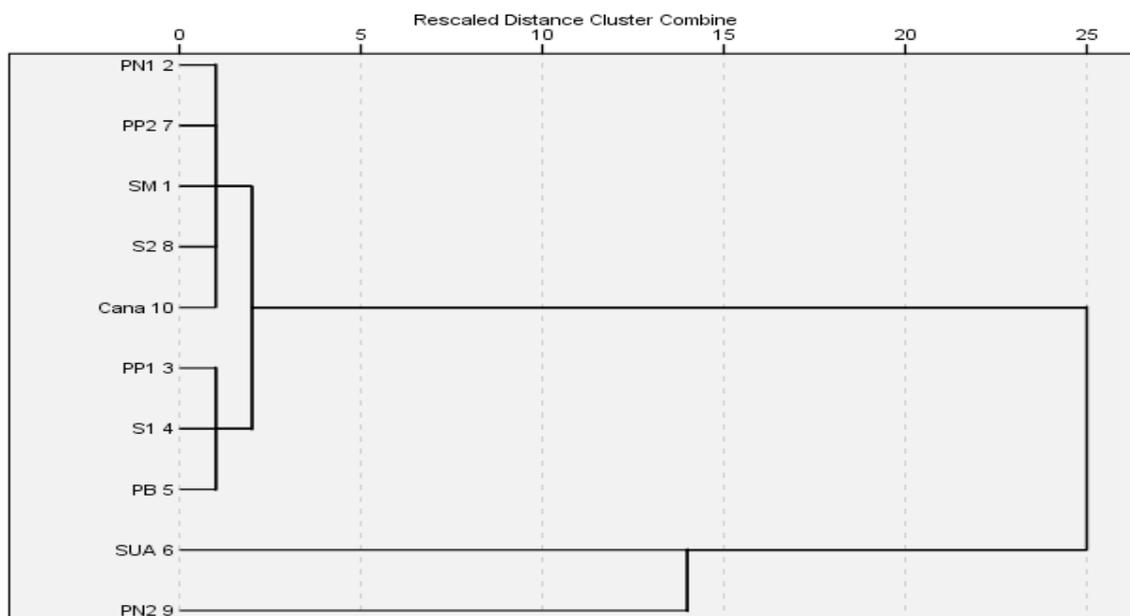


Figura 1. Análise de similaridade entre os usos do solo. PN1 (Pastagem Natural – textura argilosa); PP2 (Pastagem Plantada – textura média); SM (soja-milho); S2 (soja- textura média); Cana (cana-de-açúcar); PP1 (Pastagem Plantada – textura média); S1 (soja- textura argilosa); PB (Pastagem brachiaria); SUA (sem uso agrícola); PN2 (Pastagem Natural – textura arenosa).

partículas) promovida pela distribuição do tamanho de partículas do solo. Além disso, evidenciam que o índice S depende mais da porosidade total do solo, especialmente da macroporosidade, uma vez que representa a água retida pelos poros estruturais (microfissuras, bioporos e macroagregados).

Ao analisarmos os valores de índice S (Tabela 3) para as áreas avaliadas no presente estudo, nota-se que os solos de textura arenosa, ou seja, com maiores quantidades de poros de maior diâmetro (macroporosidade) apresentaram maiores valores de índice S, logo, maior inclinação da curva de retenção de água no solo.

Segundo Dexter et al. (2008), a porosidade estrutural é mais sensível às alterações promovidas pelo manejo antrópico como, por exemplo, a compactação. O que evidencia que solos dotados de apenas porosidade textural, como os Latossolos e Argissolos, podem ser considerados como de má qualidade física. Isso porque, nesse caso, o intervalo de água disponível as plantas seriam menores, devido à redução do potencial da água no solo, o que não ocorre geralmente nos solos de textura arenosa onde a retenção de água é determinada quase que inteiramente pelos poros texturais, sobretudo, pela presença de silte e argila. Logo, de acordo com Reynolds et al. (2009), esse

indicador de qualidade física do solo pode levar a indicações errôneas quando aplicado para solos de textura mais arenosa e outros materiais de estrutura granular, como é o caso da maioria dos Neossolos e Latossolos do cerrado.

Beutler et al. (2008) relata que o índice S tem relação direta com a densidade do solo, pois o valor de S diminui à medida que aumenta a densidade do solo. Isso ocorre por causa da redução da quantidade de macroporos em relação a de microporos, diminuindo, conseqüentemente, a inclinação da curva de retenção de água. Entretanto, os resultados do presente estudo evidenciam que nem sempre o aumento da densidade do solo proporciona redução do índice S, corroborando com os resultados obtidos por Dexter (2004a) que, quando o solo passa pelo processo de compactação os poros inter-agregados tendem a reduzir de tamanho, formando microporos e, como conseqüência, serão capazes de reter mais água, o que resulta em um aumento do valor do índice S, ou seja, a compactação, às vezes, pode melhorar o valor do índice S nos solos.

A correlação positiva da densidade e o índice S encontrados no presente estudo podem ser decorrentes da microagregação das partículas de argila e óxidos e hidróxidos Fe e Al, presentes na maioria dos Latossolos do cerrado, o que promove

Tabela 4. Matriz de correlação de Pearson do índice S com as propriedades físico-hídricas do solo.

	Índice S	MA	MI	PT	Dp	Ds	AT	AF	AG	Silt	Arg	AN	CO
Índice S	1												
MA	0,635**	1											
MI	-0,759**	-0,643**	1										
PT	-0,364*	0,142	0,667**	1									
Dp	0,354	0,532**	-0,397**	0,005	1								
Ds	0,394*	-0,096	-0,699**	-0,997**	0,077	1							
AT	0,625**	0,323	-0,868**	-0,808**	0,171	0,820**	1						
AF	0,490**	0,055	-0,632**	-0,763**	0,178	0,766**	0,831**	1					
AG	0,497**	0,498**	-0,749**	-0,484**	0,083	0,491**	0,738**	0,238	1				
Silt	-0,584**	-0,351	0,812	0,708	-0,241	-0,726**	-0,951**	-0,773**	-0,724**	1			
Arg	-0,614**	-0,278	0,852**	0,831**	-0,103	-0,838**	-0,969**	-0,820**	-0,698**	0,846**	1		
AN	-0,484**	-0,309	0,618**	0,498**	-0,257	-0,517**	-0,708**	-0,623**	-0,481**	0,595**	0,749**	1	
CO	0,546**	-0,340	0,722**	0,615**	-0,337	-0,636**	-0,731**	-0,523**	-0,610**	0,807**	0,658**	0,424*	1

Ma – macroporosidade; MI- microporosidade; PT- porosidade total; Dp – Densidade de partículas; Ds – densidade do solo; AT – areia total; AF – areia fina; AG – areia grossa; Silt – silte; Arg – argila; AN – argila natural; CO- conteúdo de carbono orgânico do solo. *Significativo a 5% de probabilidade. **Significativo a 1% de probabilidade.

aumento da porosidade e conseqüente diminuição da densidade do solo. Os óxidos de Fe e de Al são importantes na agregação do solo, uma vez que, com aumento dos seus teores, as partículas tendem a um arranjo mais casualizado e a estrutura tende a granular, influenciando as propriedades físicas do solo (RESENDE *et al.*, 2007).

A relação positiva entre o índice S e conteúdo de C.O no solo verificada no presente estudo corrobora com os resultados obtidos por Dexter (2004a) que evidenciaram que sistemas de uso e manejo que mantêm ou adicionam carbono ao solo podem proporcionar valores mais elevados do índice S. A relação positiva entre o índice S e o conteúdo de C.O no solo é função da influência da matéria orgânica na formação e estabilização dos agregados e poros no solo.

Nessa mesma linha, Andrade *et al.* (2009) também verificaram que estratégias de manejo que mantêm ou adicionam carbono ao solo proporcionam melhoria da qualidade física do solo, principalmente devido ao incremento dos teores de matéria orgânica, criação de bioporos, melhora a estrutura e proteção da superfície do solo pela palhada evitando, assim, o processo de selamento superficial do solo.

CONCLUSÕES

- O índice S mostrou variação entre os sistemas de uso do solo e foi sempre superior ao valor considerado limite para a boa qualidade física do solo.
- O índice S correlacionou-se com os atributos físico-hídricos do solo e com o conteúdo de carbono orgânico, mostrando-se como um eficiente indicador da qualidade física do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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 -PB, v.13, n.4, p.411-418, 2009.

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F. Índice S como

indicador da qualidade física de solos do Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande -PB, v.13, n.4, p.382-388, 2009.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.677-687, 2009.

BEUTLER, A.N. FREDDI, O.S.; LEONE, C.L.; CENTURION, J.F. Densidade do solo relativa e parâmetro "S" como indicadores da qualidade física para culturas anuais. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v.8, n. 2, p.27-36, 2008.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p. 121-126, 1995.

CONSENSA, C.O.B.; VOGELMANN, E.S.; REICHERT, J.M.; PREVEDELLO, J.; OLIVEIRA, A.É.; REINERT, D.J. Relação entre o índice "S" e algumas propriedades físico-hídricas de diferentes solos do Rio Grande do Sul. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais**. Uberlândia -MG. Solos nos biomas Brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas. Uberlândia – MG, 2010.

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

DEXTER A.R. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tith and hard-setting. **Geoderma**, v.120, p.215-225, 2004b.

DEXTER A.R. Soil physical quality: Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S- theory. **Geoderma**, v.120, p.227-239, 2004c.

DEXTER, A.R., CZYZ, E.A., RICHARD, G.,

RESZKOWSKA, A. A user-friendly water retention function that takes account of the textural and structural pore spaces in soil. **Geoderma**, v. 143, n. 3, p. 243-253, 2008.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.) Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America**, p. 3-21, 1994 (Special Publication, 35).

DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, v.56, p.1-54, 1996.

JACKSON, P.C., MEINZER, F.C.; BUSTAMANTE, M.; GOLDSTEIN, G.; FRANCO, A.; RUNDEL, P.W.; CALDAS, L.; IGLER, E.; CAUSIN, F. Partitioning of soil water among tree species in a Brazilian Cerrado ecosystem. **Tree Physiology**, v.19, p.717-724, 1999.

KLUTE, A. Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America Journal**, 1986.

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**, v.113, p.82-88, 2011.
MAIA, C.E. Índice S para avaliação da qualidade física de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1959-1965, 2011.

MARCHÃO, R.L.; SANTOS JUNIOR, J.D.G.; SILVA, E.M.; SÁ, M.A.C.; BALBINO, L.C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Parâmetro "S" e intervalo Hídrico Ótimo em Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. IN: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31. **Anais**. Gramado, Sociedade Brasileira de

Ciência do solo, 2007. CD-ROM.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v.27, p.28-49, 2003.

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

REYNOLDS, W.D.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; FOX, C.A.; YANG, X.M. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, v.152, p.252-263, 2009.

SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; SILVA, E.M.; SILVEIRA, P.M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1339-1348, 2011.

SILVA, B.M.; OLIVEIRA, G.C.; SERAFIM, M.E. SILVA, E.A.; OLIVEIRA, L.M. Índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Bioscience Journal**, v.28, p.338-345, 2012.

STEFANOSKI, D.C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L.P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1301-1309, 2013.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; HORN, R. Relações do parâmetro S para algumas propriedades físicas de solos do Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2603-2612, 2008.

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