



Índice S como indicador da qualidade física do solo em sistemas integrados de produção⁽¹⁾

Onã da Silva Freddi⁽²⁾, Wellington de Azambuja Magalhães⁽³⁾, Vinicius Marchioro⁽⁴⁾,
Matheus Zulato de Borba⁽⁴⁾, Guilherme Camargo Oliveira⁽⁴⁾, Flávio Jesus Wruck⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT).

⁽²⁾ Professor; Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT); Sinop, MT; onafreddi@ufmt.br; ⁽³⁾ Mestrando; UFMT. Campus de Sinop; ⁽⁴⁾ Graduando em Agronomia; UFMT. Campus de Sinop. ⁽⁵⁾ Pesquisador; EMBRAPA Arroz e Feijão.

RESUMO: Neste trabalho foi avaliado o índice “S” como indicador da qualidade física do solo em cinco sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) nos seguintes arranjos florestais: Eucalipto em linha simples, linha dupla e linha tripla (Eucalipto I, II e III respectivamente), Teca em linha tripla, Pau-balsa em linha tripla. Os tratamentos foram conduzidos na Fazenda Gamada no município de Nova Canaã, MT, instalados em janeiro de 2009. Em maio de 2013 foram realizadas as amostragens de solo com estrutura preservada nas camadas 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m em diferentes locais de amostragem em relação as árvores. Os dados foram submetidos à análise de variância e quando significativo, as variáveis foram separadas pelo teste “t”. Os sistemas integrados apresentaram baixa qualidade estrutural do solo com base no índice “S”, com média geral entre 0,034 e 0,035.

Termos de indexação: estrutura do solo, ILPF, índice “S”.

INTRODUÇÃO

Os sistemas agrícolas de produção estão sempre passando por transformações, seja para melhorar a produtividade das culturas ou condicionar menores impactos ao meio ambiente. Em função das necessidades de determinadas regiões, algumas propriedades passaram a implantar espécies florestais em meio à lavoura e pastagem, sendo estes sistemas denominados integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF).

A curva de retenção de água do solo (CRA), que representa a relação entre a energia com a qual a água está retida e o conteúdo de água correspondente (Genuchten, 1980), tem sido muito aplicada em estudos da qualidade física do solo. A partir da CRA é possível determinar o índice “S”, desenvolvido por Dexter (2004), sugerindo esta propriedade como um indicador de qualidade física do solo. Tal indicador é baseado no ponto de inflexão do modelo da CRA proposta por Genuchten (1980), sendo seus valores altamente correlacionáveis com a densidade do solo,

porosidade total, macroporosidade, matéria orgânica do solo (ANDRADE & STONE, 2008; SILVA et al., 2012; BEUTLER, et al., 2008; CUNHA et al., 2011; FREDDI et al., 2009).

Segundo Maia (2011), o estudo do índice “S” tem avançado no Brasil, pois este indicador apresenta sensibilidade para identificar a degradação da qualidade física do solo em diferentes sistemas de uso. Diante do exposto, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o índice “S” como indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho Amarelo cultivado com sistemas integrados em diferentes arranjos florestais.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Unidade de Referência Tecnológica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-Agrosilvipastoril), Fazenda Gamada, município de Nova Canaã do Norte, MT, Brasil. Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima tipo Aw, tropical chuvoso, com nítida estação de seca.

Em janeiro de 2009 a área foi dessecada com herbicida glifosato (1,26 kg ha⁻¹ do i.a.) e então realizada abertura de sulcos para o plantio das espécies florestais, com espaçamento de 20 m entre os renques para implantação de atividades agrícolas e pecuária. Os tratamentos constaram de cinco sistemas de uso do solo constituídos com sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), com diferentes arranjos e densidades de árvores, os quais estão descritos detalhadamente na **Tabela 1**. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico de textura argila.

A faixa de 20 m entre os renques de árvores foi ocupada por lavoura nos anos iniciais. Em janeiro de 2009 foi realizada a semeadura de arroz como 1ª safra, seguido pelo plantio de braquiária apenas como cobertura do solo. Na safra 2009/2010 foi realizada a semeadura de soja como 1ª safra e arroz na 2ª safra. Na safra 2010/2011 houve semeadura de soja na 1ª safra e milho na 2ª safra.



A partir de março de 2011 a pastagem foi introduzida em meio à lavoura de milho, a qual foi pastejada a partir de junho de 2011. A taxa de lotação média da área foi de 3,7 animais ha⁻¹, com ganho de 1,04 kg dia⁻¹ animal⁻¹, nas fases de recria e terminação.

Tabela 1. Descrição dos sistemas integrados de produção.

Sistema	Arranjo Florestal
Eucalipto I	Eucalipto (<i>Eucalyptus urograndis</i>) em linha simples: 2 m entre árvores e 20 m entre linhas (250 árvores ha ⁻¹).
Eucalipto II	Eucalipto em linha dupla: 3 m x 2 m entre árvores e 20 m entre linhas (434 árvores ha ⁻¹).
Eucalipto III	Eucalipto em linha tripla: 3 m x 3 m x 2 m entre árvores e 20 m entre linhas (577 árvores ha ⁻¹).
Teca	Teca (<i>Tectona grandis</i>) em linha tripla: 3 m x 3 m x 2 m entre árvores e 20 m entre linhas (577 árvores ha ⁻¹).
Pau-Balsa	Pau-balsa (<i>Ochroma pyramidale</i>) em linha tripla: 3 m x 3 m x 2 m entre árvores e 20 m entre linhas (577 árvores ha ⁻¹).

Com o intuito de avaliar a variabilidade das propriedades físicas do solo sob diferentes ambientes proporcionados pelo sistema ILPF, considerou-se cinco posições de amostragem dentro de cada tratamento. As posições de amostragem ficaram definidas no sentido transversal aos renques das espécies florestais sendo: a 10 m das árvores (P1), a 5 metros (P2), sob as árvores (P3), e novamente a 5 m (P4) e a 10 m (P5).

Em maio de 2013, retirou-se uma amostra indeformada por posição de amostragem nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, considerando-se três repetições por sistema de produção, num total de 150 amostras indeformadas. As amostras indeformadas foram obtidas por meio de cilindros metálicos de 0,049 m de diâmetro e 0,05 m de altura.

Para determinação da curva de retenção de água do solo (CRA) e posterior, do índice "S", as amostras indeformadas foram saturadas por meio de elevação gradual de uma lâmina de água por 24 h e então submetidas aos potenciais mátricos (Ψ) de -10, -30, -60, -80 e -100 hPa em mesa de tensão; e -300, -600, -1000, -3000 e -5000 hPa em câmaras de Richards (KLUTE, 1986). Para a determinação do conteúdo de água na tensão de -

15000 hPa, foram utilizadas amostras deformadas em câmaras de Richards. Após o equilíbrio das amostras em cada tensão, foram determinados seus conteúdos de água (GARDNER, 1986). Com o último conteúdo de água determinado, as amostras foram secas em estufa a 105°C por um período de 48 horas. Os ajustes das CRA foram realizados pelo modelo proposto por Genuchten (1980), com a restrição $m=1-1/n$, minimizando a soma dos quadrados dos desvios, utilizando o software SWRC (Dourado Neto et al., 2001), obtendo assim os parâmetros empíricos de ajuste, α , m e n , fixando-se o Θ_s (umidade de saturação) no valor correspondente à porosidade total. Determinou-se, com base nos parâmetros obtidos, o índice "S", calculado a partir da declividade formada no ponto de inflexão da CRA conforme Dexter (2004).

Os dados coletados foram submetidos aos testes de Shapiro Wilk & Levene, ambos a 5 % de probabilidade, para verificação da normalidade dos resíduos e homocedasticidade das variâncias, respectivamente. Quando o teste F foi significativo as variáveis foram comparadas pelo teste "t" à 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve similaridade do coeficiente n entre todos sistemas e posições de amostragem (**Tabela 2**). Os valores médios de n foram 1,329 e 1,324 para as camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente. O coeficiente n corresponde ao índice de distribuição de tamanho de poros e juntamente com o parâmetro alfa (α) afeta o formato das curvas de retenção de água do solo.

A análise de variância apontou diferença para o coeficiente alfa e também para Θ_s e Θ_r na camada 0,00-0,10 m, e Θ_s e Θ_r na camada 0,10-0,20 m (**Tabela 2**).

Os sistemas integrados proporcionaram diferenças do coeficiente alfa da curva de retenção de água do solo na camada de 0,00-0,10 m, sendo constatado maior valor no sistema Eucalipto I (**Tabela 3**). O coeficiente alfa corresponde ao valor inverso da entrada de ar no solo (L^{-1}), ou seja, após o início do processo de drenagem do solo, ocorrerá entrada de ar mais rápida nos poros do solo dos sistemas com Eucalipto (Genuchten, 1980).

Não foram observadas diferenças significativas para o índice "S" entre os sistemas integrados de produção (S) nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m (**Tabela 2**). Quando comparado as posições de amostragem houve diferença significativa apenas na camada 0,00-0,10 m. A posição de amostragem P1 apresentou a maior média de índice "S" (0,037). Não houve diferença significativa entre as posições de amostragem P2, P3, P4 e P5.



Dexter (2004) avalia que altos valores de índice "S" caracterizam solos com forte presença de poros estruturais representando boa qualidade física do solo, e considera o valor de índice "S" igual a 0,035 como limite entre solos com estrutura física degradada e com solos com condições favoráveis ao desenvolvimento das raízes das plantas. Em função da variabilidade dos solos e das condições edafoclimáticas, o limite físico determinado pelo índice "S" pode variar para cada região e cultura. Silva et al. (2010) lembra que os valores de índice "S" sugerido por Dexter (2004) são provisórios como fonte de classificação da qualidade física dos solos.

Andrade & Stone (2008) verificaram a adequação do índice "S" no diagnóstico da qualidade física de solos do Cerrado, sugerindo que solos com índice "S" acima de 0,045 apresentam boa qualidade estrutural. Abaixo deste valor, os solos tendem a degradação. Apenas a posição de amostragem P1 na camada de 0,00-0,10 m apresentou valores de "S" acima de 0,035. A média geral dos tratamentos para o índice "S" observada na camada 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m foram de 0,034 e 0,035, respectivamente. Observa-se que os valores de índice "S" encontrados nos sistemas integrados caracteriza baixa qualidade estrutural do solo nesta área.

Estes baixos valores de índice "S" se devem possivelmente ao não revolvimento da área na instalação dos sistemas de ILPF. Na qual foi realizado apenas a abertura de sulcos para o plantio das espécies arbóreas, sem preparo mecânico do solo (subsolação ou gradagem). Assim, ao longo de 50 meses de condução do experimento, os sistemas integrados de produção não foram eficientes para promover melhorias na qualidade física do solo.

CONCLUSÕES

Não se observou diferenças para o índice "S" entre os sistemas integrados de produção nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.

Os valores de índice "S" encontrados nos sistemas integrados caracterizam baixa qualidade estrutural do solo nesta área.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pelo auxílio financeiro ao projeto.

À Embrapa Agrossilvipastoril e à Fazenda Gamada pela seção da área experimental.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. S. & STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 13, p. 382-388, 2008.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DASILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERINI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. i-xii, 2011.

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 Ciências da Terra**, v. 8, p. 27-36, 2008.

CUNHA, E. 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 589-602, 2011.

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, 2004.

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**, v. 33, p. 793-803, 2009.

GARDNER, W. H. Water content. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: Part 1 -Physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 493-541.

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.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; DIAS JÚNIOR, M. S.; IMHOFF, S. & KLEIN, V. A. Indicadores da qualidade física do solo. In: JONG van LIER, Q., **Física do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. P.241-281.

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.

Tabela 2. Valores de F calculados pela análise de variância para os coeficientes da equação de Genuchten (Θ_s , Θ_r , α e n) e índice S de um Latossolo Vermelho Amarelo, envolvendo sistemas integrados (S) (Eucalipto I, II e III, Teca e Pau-balsa), posição de amostragem (P) e interações (S x P).

Causa de Variação	Coeficientes da curva de retenção				Índice "S"
	n	α hPa ⁻¹	Θ_r ----- m ³ m ⁻³ -----	Θ_s	
Camada 0-0,10					
Sistemas	3,215 ^{ns}	5,408*	51,881**	5,048*	2,113 ^{ns}
Posição	1,429 ^{ns}	10,602**	2,577 ^{ns}	2,512 ^{ns}	3,101*
S x P	1,435 ^{ns}	1,398 ^{ns}	1,447 ^{ns}	1,607 ^{ns}	0,793 ^{ns}
CV 1 (%)	3,51	38,94	5,67	6,51	24,44
CV 2 (%)	3,43	45,32	4,15	4,07	15,67
Média Geral	1,329	0,0338	0,222	0,472	0,034
Camada 0,10-0,20 m					
Sistemas	2,975 ^{ns}	3,682 ^{ns}	63,538**	11,964**	2,717 ^{ns}
Posição	0,537 ^{ns}	2,874*	1,816 ^{ns}	1,687 ^{ns}	0,702 ^{ns}
S x P	1,622 ^{ns}	2,391**	1,081 ^{ns}	1,058 ^{ns}	1,247 ^{ns}
CV 1 (%)	4,59	42,73	5,49	5,05	26,19
CV 2 (%)	3,95	40,90	4,49	5,14	24,12
Média Geral	1,324	0,0829	0,224	0,468	0,035

α , n: coeficientes de determinação das curvas de retenção de água do solo; CV1 (%): coeficiente de variação referente ao fator Sistemas; CV 2 (%): coeficiente de variação referente ao fator Posição. **, * F significativo a 1 e 5 %, respectivamente.

Tabela 3. Valores médios e erros-padrão para os coeficientes da equação de Genuchten (Θ_r , Θ_s e α) de um Latossolo Vermelho Amarelo sob sistemas integrados de produção.

Coeficiente	Sistema				
	Eucalipto I	Eucalipto II	Eucalipto III	Teca	Pau-balsa
0 - 0,10 m					
α (hPa)	0,045±0,01 a	0,034±0,00 abc	0,037±0,00 ab	0,024±0,00 c	0,030±0,00 bc
Θ_r (m ³ m ⁻³)	0,22±0,01 b	0,24±0,00 a	0,24±0,00 a	0,22±0,00 b	0,18±0,00 c
Θ_s (m ³ m ⁻³)	0,48±0,01 ab	0,49±0,00 a	0,49±0,00 a	0,45±0,01 c	0,45±0,00 bc
0,10 - 0,20 m					
Θ_r (m ³ m ⁻³)	0,24±0,00 a	0,24±0,00 a	0,24±0,00 a	0,21±0,00 b	0,18±0,00 c
Θ_s (m ³ m ⁻³)	0,48±0,01 a	0,48±0,00 a	0,50±0,01 a	0,45±0,00 b	0,44±0,01 b

alfa (α): coeficiente de determinação da curva de retenção de água do solo; Θ_r : Umidade residual; Θ_s : Umidade de saturação; Médias seguidas de mesma letras não diferem estatisticamente pelo teste "t" a 5%. Letras minúsculas comparam na linha.

Tabela 4. Valores médios e erros-padrão para o coeficiente alfa (α) da curva de retenção e índice S do Latossolo Vermelho-Amarelo sob sistemas integrados de produção na camada de 0-0,10 m.

Coeficiente	Posição de amostragem				
	P1	P2	P3	P4	P5
α (hPa)	0,033±0,00 b	0,019±0,00 c	0,054±0,00 a	0,033±0,00 b	0,030±0,00 bc
Índice S	0,037±0,00 a	0,033±0,00 b	0,035±0,00 ab	0,033±0,00 b	0,031±0,00 b

alfa (α): coeficiente de determinação das curvas de retenção de água do solo; Médias seguidas de mesma letras não diferem estatisticamente pelo teste "t" a 5%. Letras minúsculas comparam na linha.