



XXXIII

Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

ÍNDICE “S” E SUAS RELAÇÕES COM CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE SOLOS E COM A PRODUTIVIDADE DE EUCALIPTO

Aline Pacobahyba de Oliveira⁽¹⁾; Júlio César Lima Neves⁽²⁾, João Carlos Ker⁽²⁾, Genelício Crusoe Rocha⁽²⁾, Nairam Félix de Barros⁽²⁾, Fernando Palha Leite⁽³⁾, Alan Tadeu Goyatá Neves⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Pesquisadora da Embrapa Solos – CNPS, Rua Jardim Botânico, 1024, 22460-000, Jardim Botânico, Rio de Janeiro – RJ, aline@cnps.embrapa.br; ⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Av. P. H. Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa – MG; ⁽³⁾ Coordenador da Área de Pesquisa Florestal, Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento, Depla D, Celulose Nipo Brasileira S.A., Rodovia de ligação BR 381 a Belo Oriente, km 3, 35160-970, Belo Oriente – MG, Caixa-Postal 100; ⁽⁴⁾ Engenheiro Agrônomo, Gerente de pesquisa e tecnologia, Irriplus, Rua José Braz da Costa Val, 45, lj 03, 36570-000, Viçosa – MG.

Resumo – O modelo 3-PG vem sendo utilizado para estimar a capacidade produtiva do sítio florestal, necessitando, contudo, ser dotado de resolução em nível de solo. Para isso, é essencial o desenvolvimento de um modulador pedológico capaz de refletir os fluxos de ar, água e nutrientes. Nesse contexto, foi proposto o Índice “S”, caracterizado pela inclinação da curva de retenção de água do solo no ponto de inflexão. O objetivo deste trabalho foi determinar o Índice “S”, avaliar sua relação com características físicas de solos e com a produtividade de eucalipto. Curvas de retenção de água foram ajustadas ao modelo de van Genuchten para amostras de solos da região do Vale do Rio Doce – MG e o Índice “S” foi determinado e correlacionado com a densidade do solo, a porosidade total, a macroporosidade, a microporosidade, a relação macro/microporosidade, e com os teores de argila, de silte mais argila e de matéria orgânica. O relacionamento do Índice “S” com a razão de produtividades (IMA7/IMAp, sendo IMA7 a produtividade equalizada para 7 anos, proveniente do inventário florestal contínuo, e IMAp a produtividade potencial, estimada pelo 3-PG), foi feito pelo método da Linha de Fronteira. O Índice “S” relacionou-se com características físicas dos solos e com o teor de matéria orgânica, mostrando-se capaz de representar a qualidade física dos solos. Foram obtidas faixas de valores de “S” associadas a classes de qualidade física do solo para o eucalipto. Em torno de 80 % dos solos deste estudo apresentam boa qualidade física.

Palavras-Chave: solo, qualidade, água, modelagem porosidade.

INTRODUÇÃO

No Brasil, o modelo de base processual 3-PG (Physiological Principles in Predicting Growth, Landsberg & Waring, 1997) tem sido utilizado para estimar a capacidade produtiva do sítio florestal. Contudo, o modelo carece de melhor resolução em nível de solo para que possa ser utilizado como efetiva ferramenta de subsídio ao manejo florestal.

Uma estratégia para conferir essa resolução ao 3-PG é a obtenção de um modulador pedológico que reflita os fluxos de ar, água e nutrientes e sua utilização

no referido modelo. Tal modulador, preferencialmente, deve ser constituído por indicadores disponíveis em levantamentos pedológicos, e que reflitam a qualidade do solo.

Nesse sentido, o Índice “S”, proposto por Dexter (2004a, b, c) tem sido utilizado no Brasil como indicador da qualidade física e estrutural e na avaliação do grau de degradação do solo em função do tipo de manejo empregado e do teor de matéria orgânica. Este índice consiste na declividade da curva de retenção de água do solo no seu ponto de inflexão. Seu valor representa a proporção de poros, por tamanho, de maior frequência em uma determinada amostra de solo.

O Índice “S” representa a estrutura do solo, a qual governa algumas características intrínsecas aos solos e tem sido considerado como um avanço na quantificação da qualidade estrutural do solo (Silva et al., 2010).

Este trabalho teve como objetivos: avaliar o Índice “S” e seu relacionamento com características físicas de solos sob cultivo de eucalipto na região do Vale do Rio Doce – MG; obter faixas de valores de “S” indicativas de classes de qualidade física do solo para a cultura do eucalipto; avaliar a qualidade física de solos da região do Vale do Rio Doce – MG, cultivados com eucalipto.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de 48 amostras indeformadas de solos representativos da região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, sob plantios de eucalipto, em áreas da Celulose Nipo Brasileira – CENIBRA S.A., localizadas entre 18° e 20° de latitude sul e 42° e 44° de longitude oeste.

Dados de umidade em base gravimétrica e volumétrica, e de tensão foram ajustados ao modelo de van Genuchten (1980), Eq. 1.

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

em que, θ = umidade do solo, em kg kg^{-1} ou $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$; θ_s = umidade do solo na saturação, em kg kg^{-1} ou $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$; θ_r = umidade residual do solo, em kg kg^{-1} ou $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$; h = tensão da água no solo, em kPa ; α , m e n = parâmetros de ajuste, sendo α expresso em kPa^{-1} , e m e n adimensionais.

O Índice “S” foi obtido pela equação (Eq. 2) proposta por Dexter (2004a).

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

em que, θ_s = umidade do solo na saturação, em kg kg^{-1} ou $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$; θ_r = umidade residual do solo, em kg kg^{-1} ou $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e n = parâmetro de ajuste, adimensional.

Os valores de Índice “S” assim obtidos foram denominados de “Sg”, se na CRA os valores de água retida foram considerados em base gravimétrica, e de “Sv”, se tais valores foram considerados em base volumétrica. Destaca-se que os valores do Índice “S” obtidos pela Eq. 2. são considerados em módulo, conforme Dexter (2004a).

Substituiu-se o valor de 6 kPa por h na equação de van Genuchten e obtiveram-se os percentuais de macroporos e de microporos e a razão macroporosidade/microporosidade.

Os valores de Índice “Sg” e “Sv” foram correlacionados com densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, macro/microporosidade, argila, silte mais argila, e com o teor de matéria orgânica.

Para que fosse possível estimar o Índice “S” ajustado para um número maior de perfis (142) para o quais só havia disponibilidade de dados de água retida às tensões de 10 kPa e de 1500 kPa, além de θ_s estimado como Pt, o modelo de van Genuchten foi ajustado para as 48 amostras de solos, considerando apenas os valores de água retida às tensões de 10 kPa e de 1500 kPa, além de θ_s estimado como Pt, conforme a Eq.1, e foram obtidos os valores de Índice “S”, com base na Eq. 2, denominados de Índice “S” calculado. Estes valores foram relacionados aos valores de Índice “S” previamente ajustados com base nas curvas contendo as cinco tensões (10, 30, 100, 300 e 1500 kPa) (Índice “S” ajustado) por meio de equação de regressão.

A produtividade atual de plantios de eucalipto ajustada para a idade de 7 anos (IMA7) em localidades da região do Vale do Rio Doce, foi obtida de parcelas do inventário florestal contínuo (IFC) da CENIBRA.

A produtividade potencial (IMAp) foi obtida por simulações de crescimento da cultura do eucalipto utilizando o modelo 3-PG, parametrizado por Borges (2009).

Os valores de IMA7 foram divididos pelos de IMAp, obtendo-se os valores de razão de produtividades (IMA7/IMAp).

A razão de produtividades IMA7/IMAp foi relacionada com os valores de Índice “Sv” pelo método da Linha de Fronteira (LF), conforme Walworth et al. (1986). Aos pares de dados obtidos da LF, foi feito o ajuste de equações não lineares de IMA7/IMAp em função de “Sv”.

Com base na equação selecionada, foram determinadas faixas de valores de “Sv” associadas a classes de qualidade física do solo para a cultura do eucalipto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas 48 amostras de solo avaliadas, os valores de “Sg” foram iguais ou maiores que 0,036 e os de “Sv”

iguais ou maiores que 0,044 (Quadro 1), superiores, assim, ao valor de 0,035, proposto por Dexter (2004a) como limite entre solos com má e boa qualidade física. É importante mencionar que o Índice “S” necessita ainda de ajustes referentes aos limites e valores críticos para as condições de solos e culturas do Brasil.

Quadro 1. Valores médios, coeficiente de variação (CV), valores mínimos e valores máximos do Índice “S” calculado a partir da CRA com umidade em kg kg^{-1} (“Sg”) e em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (“Sv”).

	Horizonte A		Horizonte B ou C	
	"Sg"	"Sv"	"Sg"	"Sv"
Mínimo	0,037	0,045	0,036	0,044
Máximo	0,171	0,100	0,112	0,089
Média	0,067	0,067	0,068	0,069
CV (%)	48,9	23,0	35,0	20,9

Segundo Silva et al. (2010), maiores valores de Índice “S” são indicativos de melhor qualidade física, pois são solos estruturados e com poros de diferentes tamanhos. Desse modo, o Índice “S” pode refletir processos associados ao sistema poroso do solo, como por exemplo, os fluxos de água e ar no solo bem como a condição física do solo para o crescimento radicular das plantas, e, assim, pode se relacionar às condições para o crescimento e desenvolvimento das plantas e a sustentabilidade do ecossistema.

Na investigação do relacionamento entre o Índice “S”, tanto “Sv” como “Sg”, e características físicas do solo e teor de matéria orgânica (Quadro 2) verificou-se que as correlações do Índice “S” com a Ds, a Pt, a Mp, a $\mu\mu$, a Mp/ $\mu\mu$ e a MO foram todas significativas ($p < 0,001$), sendo negativa para a Ds e $\mu\mu$ e positivas para as demais características; além disso, apenas para Ds e Pt essas correlações foram mais estreitas com “Sg” de que com “Sv”. Já para argila ($p < 0,01$) e silte mais argila ($p < 0,1$) as correlações só foram significativas com “Sg”.

Quadro 2. Coeficientes de correlação linear simples entre o Índice “S”, calculado a partir da curva de retenção de água (CRA) com umidade em kg kg^{-1} (“Sg”) e em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (“Sv”) e características físicas dos solos.

Característica	“Sg”	“Sv”
----- n = 48 -----		
Ds	- 0,89***	- 0,67***
Pt	0,89***	0,70***
Mp	0,86***	0,86***
$\mu\mu$	- 0,42**	- 0,61***
Mp/ $\mu\mu$	0,74***	0,82***
Arg	0,39**	0,20 ^{ns}
S+A	0,28°	- 0,01 ^{ns}
MO	0,65***	0,48***

Ds: densidade do solo, Pt: porosidade total, Mp: macroporosidade e Mp/ $\mu\mu$: relação macroporosidade/micro porosidade; Arg: teor de argila, S+A: Silte mais argila, MO: teor de matéria orgânica, n: número de amostras avaliadas; ***, **, °, ^{ns}: significativo a 0,1 %, 1 %, 10 % e não significativo respectivamente.

Na medida em que os solos se tornam compactados, a curva de retenção de umidade começa a apresentar redução na inclinação no seu ponto de inflexão e, consequentemente, redução no valor de “S”. Tal fato é atribuído à diminuição na relação $Mp/\mu p$, o que causa a diminuição dos teores de água em tensões mais baixas.

A ausência de correlação significativa entre “Sv” e argila, verificada neste trabalho, pode também ser explicada pelo fato de que a correlação entre argila e Ds foi negativa e significativa a 0,1 % de probabilidade, uma vez que “Sv” já incorpora o efeito de Ds.

A correlação positiva e significativa a 0,1 % de probabilidade entre os Índices “S” (“Sv” e “Sg”) e MO se alinha ao também verificado por Dexter (2004a), cabendo notar que aqui esse relacionamento foi mais estreito para “Sg”, o que pode ser explicado também pela correlação negativa e significativa existente entre Ds e MO ($r = -0,635$, $p < 0,001$). Esses resultados evidenciam o acerto da sugestão de Dexter (2004a) quanto ao uso de funções de pedotransferência para visualizar de forma minuciosa os relacionamentos entre o Índice “S” e outras características do solo.

Visando um melhor aproveitamento dos dados relativos à retenção de água constante dos levantamentos de solos, que usualmente apresentam os valores de umidade de saturação, ou seja, da Pt, e da água retida a 10 e a 1500 kPa, procedeu-se à obtenção de uma equação que descreve o relacionamento entre o Índice “S” das 48 amostras de solos aqui avaliadas em função do valor de Índice “S” obtido das CRAs ajustadas, também pelo modelo de van Genuchten, apenas aos dados de umidade de saturação e água retida às tensões de 10 e 1500 kPa. A equação obtida, de natureza curvilínea (Figura 1), é válida para valores de Índice “S” calculados de até 0,221.

Tendo em vista que em muitos levantamentos de solos as CRAs são obtidas em amostras deformadas, pode-se propor que nessas situações “Sv” por já refletir o efeito de densidade do solo, seja uma modalidade de Índice “S” capaz de permitir uma melhor utilização dos dados de levantamentos pedológicos. Portanto, optou-se por escolher “Sv” no estudo do relacionamento entre índice S e produtividade do eucalipto.

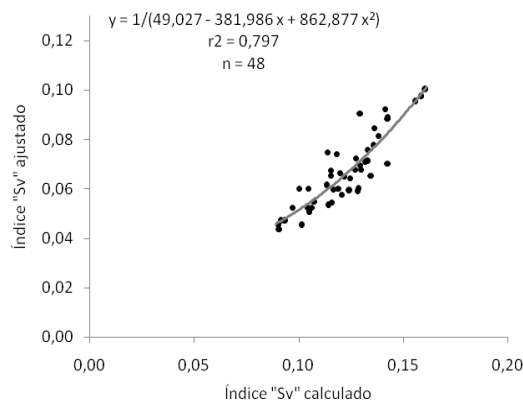


Figura 1. Equação para o Índice “Sv” ajustado, em função do Índice “Sv” calculado, para 48 amostras de solos da região do Vale do Rio Doce – MG.

Em razão da maior aderência conceitual da razão de

produtividades, optou-se por fazer o relacionamento entre o Índice “Sv” e IMA7/IMAp (Figura 2(a)). Os plantios de eucalipto avaliados abrangem um mesmo conjunto de materiais genéticos, todos clonais, e são submetidos ao mesmo esquema de manejo silvicultural, condições essas que permitem propor que o valor da razão de produtividades é fundamentalmente definido pelas condições de solo que interferem nos fluxos de água, ar e nutrientes para as plantas. Esses fluxos são influenciados pelas características e propriedades físicas do solo, que se refletem na sua qualidade física.

Existe uma fronteira superior no relacionamento entre IMA7/IMAp relativo como função de “Sv”. Aos pontos que se alinham a essa fronteira foram ajustadas equações de regressão, e selecionada a equação conforme mostrado nas Figuras 2 (a) e (b). Observa-se que o relacionamento entre a razão de produtividades e o Índice “S” não é simétrico. A existência de um ponto de máximo no relacionamento entre razão de produtividades e Índice “S” indicaria a existência de um nível ótimo de heterogeneidade da estrutura, ou seja, de um arranjo ótimo do sistema poroso do solo, com vistas à harmonização dos fluxos de água e ar e, assim, num sentido mais amplo, da qualidade física do solo. Tal fato é discordante da proposição feita por Dexter (2004a), referida em Silva et al. (2010) de que o aumento dos valores de “S” indicaria, sempre, melhoria na qualidade física.

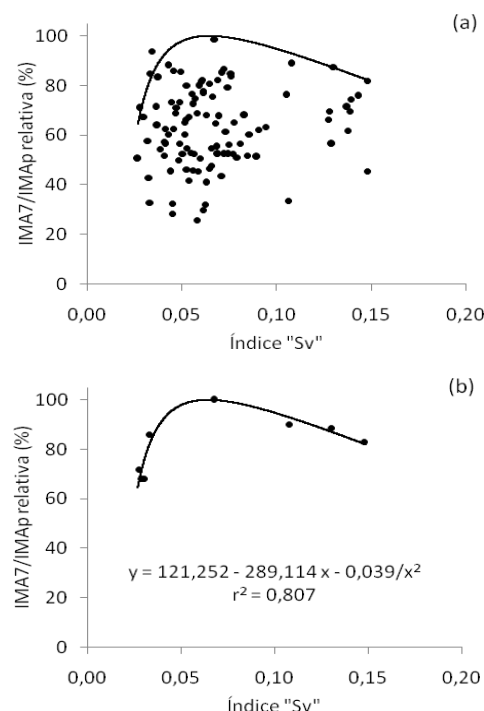


Figura 2. (a) Razão de produtividades (IMA7/IMAp) em resposta aos valores de Índice “Sv”. A curva contínua representa a linha de fronteira superior do relacionamento e (b) razão de produtividades (IMA7/IMAp) de plantios de eucalipto em 142 perfis de solos. A equação corresponde à linha de fronteira do relacionamento.

É possível observar no Quadro 3 que considerando a média dos horizontes A e B ou C, 90,2 % dos solos situam-se nas classes de qualidade física regular, boa e boa

tendendo a regular. Isso indica que menos 10 % dos solos apresentam qualidade física “pobre”, “pobre tendendo a regular” e “regular tendendo a pobre”, não havendo nenhum solo com qualidade física muito pobre.

Verifica-se também que em torno de 80 % dos solos situam-se nas duas melhores classes de qualidade física, quais sejam “boa” e “boa tendendo a regular”, com ampla predominância da classe “boa”. Os valores de Índice “Sv” associados a essas classes abrangem a faixa de 0,039 a 0,117, cujo limite inferior é um pouco menor do que o proposto por Dexter (2004a), referido em Silva et al. (2010) para a classe de melhor qualidade física (0,050), por ele denominada de “muito boa”, e neste trabalho de “boa”. Já o limite superior (0,117) que seria considerado por essa proposição de Dexter (2004a) como também indicativo da melhor classe de qualidade física, neste trabalho é indicativo de qualidade física “boa para regular”.

Quadro 3. Frequência absoluta (n) e relativa (n, %) em classes de qualidade física de solos, com base nos valores de Índice “S” associados à razão de produtividades (IMA7/IMAp).

Classe de qualidade física	Perfil (média A, B (ouC))			
	n	n (%)	Média	CV (%)
muito pobre	0	0		
pobre	2	1,4	0,0274	2,0
regular	14	9,9	0,0338	8,1
boa	73	51,4	0,0540	12,4
boa, tendendo a regular	41	28,9	0,0759	15,2
regular, tendendo a pobre	12	8,4	0,1379	5,7
pobre, tendendo a muito pobre	0	0		

Esses resultados, além de permitirem constatações sobre a qualidade física, são também importantes para embasar comparações futuras, no contexto de monitoramento da qualidade física com base no Índice “S”.

CONCLUSÕES

1. O parâmetro S relaciona-se com características físicas que refletem o sistema poroso do solo e com o teor de matéria orgânica, mostrando-se capaz de representar a qualidade física de solos cultivados com eucalipto e, assim, útil para integrar modulador pedológico a ser usado em modelos de crescimento com base processual, como o 3-PG.

2. Foram obtidas faixas de valores de “S” associadas a classes descritivas da qualidade física do solo para o eucalipto.

3. Em torno de 80 % dos solos cultivados com eucalipto na região do Vale do Rio Doce – MG apresentam boa qualidade física.

REFERÊNCIAS

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, 201–214, 2004a.

DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part II. Friability, tillage, filth 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.

LANDSBERG, J.J.; WARING, R.H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology and Management*. v.95, p.209-228, 1997.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; DIAS JUNIOR, M.S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V.A. Indicadores da qualidade física do solo. In: VAN LIER, Q.J. (Editor). *Física do Solo*. Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – SBCS. p.241-281, 2010.