

Índices da “qualidade física” do solo: excesso de atenção na física do solo brasileira.

Quirijn de Jong van Lier⁽¹⁾

⁽¹⁾ Professor, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, CENA/USP; Piracicaba, SP; qdjvlier@usp.br.

RESUMO: Dois indicadores de qualidade física, os índices S e IHO, embora não tenham sido especificamente desenvolvido para solos brasileiros, receberam muita atenção recentemente na literatura nacional, muito maior do que no resto do mundo. Nesse trabalho, a utilidade desses índices é discutida e contrastada com a atenção dada. O índice S tem sido utilizado, principalmente, como indicador comparativo da degradação ou da recuperação da qualidade física de solos, utilizando o valor 0,035 como limite entre qualidade física boa e ruim. O valor nunca foi rigorosamente testado, e a gama de valores apresentados não possui correlação com a produtividade dos solos. Conclui-se que o S, como indicador, não possui valor adicional em relação à densidade do solo ou à porosidade do solo, desqualificando-o como um indicador interessante da qualidade física do solo. O IHO foi definido como a faixa de teores de água do solo na qual não há limitações para o crescimento de plantas relacionadas com teor de água, aeração ou resistência mecânica. Muitos estudos relatam a pequena associação entre IHO e resposta das plantas, o que parece contraditório. A explicação do fato reside na prática instalada de se adotar alguns valores limite de teor de água obtidos de forma incompatível com a riqueza da definição original. Conclui-se que os esforços de pesquisa em física do solo deveriam se deslocar na direção da física do solo mecanística em detrimento da busca por correlações empíricas que, atualmente, representa muito mais do que deveria na física do solo brasileira.

Termos de indexação: Índice S, IHO, Modelagem

INTRODUÇÃO

Qualidade física do solo, no contexto agrônomo, pode ser traduzida em propriedades de transferência e de armazenagem de massa e energia que permitem teores de água, de nutrientes, de ar e de energia térmica adequados para maximizar o desenvolvimento de culturas, minimizando a degradação ambiental, bem como garantir a estabilidade do solo para manter sua estrutura e permitir o crescimento de raízes. Processos de transferência de massa e energia no solo podem ser avaliados por modelos mecanísticos, como os hidrológicos,

(agro)meteorológicos ou agrônômicos. Esses modelos necessitam de parâmetros de entrada que descrevem as condições de contorno (clima, solo, topografia, manejo e outros). O modelo processa esses parâmetros, que são mensuráveis ou estimáveis, e prediz o comportamento do sistema pela geração de informações de saída.

Dois indicadores receberam muita atenção recentemente na literatura nacional, mencionados frequentemente no contexto da qualidade física do solo: o índice S (Dexter, 2004) e o IHO (Letey, 1985; Da Silva et al., 1994). É interessante verificar que, para ambos os índices, o Brasil lidera mundialmente em número de referências às publicações originais. Segundo o Google Scholar consultado em agosto de 2012, o trabalho de Dexter (2004) foi citado 49 vezes (30% do total mundial) por autores com sede no Brasil. Em relação ao IHO, a maior parte das pesquisas publicadas em que se estudou o IHO (ou seu equivalente em inglês, LLWR) foi desenvolvida no Brasil (Gubiani et al., 2013).

Como ambos os índices não foram especificamente desenvolvido para os solos brasileiros e a atenção dada a eles no Brasil é muito maior do que no resto do mundo, a seguir sua utilidade será discutida e contrastada com a atenção dada.

DESENVOLVIMENTO

O índice S

O índice S foi definido por Dexter (2004) como o valor absoluto da inclinação da curva de retenção de água – o teor de água a base de massa U versus o logaritmo natural do potencial matricial h no seu ponto de inflexão (Figura 1). Dexter (2004) correlacionou o índice S com a textura, densidade e teor de matéria orgânica do solo e discutiu as consequências para o crescimento de raízes. Em outras publicações do mesmo autor, S foi aplicado a problemas mecânicos dos solos agrícolas e para estabelecer uma correlação com a condutividade hidráulica do solo não saturado no ponto de inflexão.

O método mais reprodutível da determinação do índice S corresponde a um ajuste de uma equação matemática aos pontos da curva de retenção observados, a partir do qual se calcula a inclinação no ponto de inflexão, igual ao S. Dexter (2004), bem

como a grande maioria dos que utilizaram o S depois dele, empregaram a equação de Van Genuchten (1980), expressa a base de massa:

$$U = U_r + (U_s - U_r) \left[1 + (\alpha h)^n \right]^{\frac{1}{n}-1} \quad [1]$$

onde h é o módulo do potencial matricial, U é o teor de água a base de massa, U_r e U_s são os teores de água a base de massa na saturação e residual, respectivamente, e α e n são parâmetros de ajuste. Utilizando essa equação para o ajuste demonstra-se que o índice S pode ser calculado em função dos parâmetros U_r , U_s e n como

$$S = n(U_s - U_r) \left(\frac{2n-1}{n-1} \right)^{\frac{1}{n}-2} \quad [2]$$

Conseqüências matemáticas da definição de S

A partir da equação [2] verifica-se que o valor do S irá mudar em função do valor de n , e também em função da diferença entre U_s e U_r . Um aumento do valor de n resulta em aumento também do S. Assim, valores mais elevados de n estão associados a solos que possuem uma distribuição dos diâmetros dos poros mais concentrada no valor que corresponde ao potencial de inflexão.

Na Figura 2 observa-se que uma alteração de $(U_s - U_r)$ não altera o potencial matricial h_i que corresponde ao ponto de inflexão, mas que, conforme prevê a equação 2, a inclinação nesse ponto se reduz proporcionalmente. A redução de U_s corresponde a um aumento na densidade do solo e, dessa forma, fica evidente por que a compactação de um solo é acompanhada normalmente de uma redução do índice S. Não é surpreendente que diversos trabalhos em que foram comparados os valores do S e os respectivos graus de compactação deram correlações boas (Andrade & Stone, 2009; Cunha et al., 2011; Pereira et al., 2011; Da Silva et al., 2012). Pela equação 2 e a Figura 2 a constatação deixa de ser empírica e se torna implícita, inerente à definição do S.

O índice S é útil ou prático?

No Brasil, o índice S tem sido utilizado, principalmente, como indicador comparativo da degradação ou da recuperação da qualidade física de solos. A quase totalidade dos autores utiliza o valor 0,035 como limite entre qualidade física boa ($S > 0,035$) e ruim ($S < 0,035$) (Cavaliere et al., 2011; Pereira et al., 2011). Esse valor limite foi proposto em Dexter (2004) com base, principalmente, em observações sobre teores críticos de matéria

orgânica em solos da Polônia e da Inglaterra. É um valor evidentemente arbitrário, como observado pelo próprio Dexter (2004). Cunha et al. (2011) encontraram valores do índice S todos abaixo de 0,035, e vários abaixo de 0,020, em todos os tratamentos com diferentes culturas de cobertura, embora a densidade do solo não tenha atingido valores críticos relatados na literatura. Em contraste, Varandas (2011) encontrou valores de uma ordem de grandeza maior do que Dexter (2004) (entre 0,02 e 0,15) em solos (Latosolos, Neossolos e Nitossolo) do Estado de São Paulo sob diversos usos, agrícolas ou não.

A gama de valores, ora altos em solos evidentemente degradados, ora baixos sem aparente correlação com a produtividade dos solos, demonstra aquilo que intuitivamente poderia ter sido desconfiado: o índice S não apresenta valores limite de qualidade física que independem do tipo de solo e ambiente. Essa constatação, por sua vez, põe em cheque o valor do índice S como indicador, pois, em termos absolutos, o seu valor não determina a qualidade física de um solo. Na melhor das hipóteses, o índice S pode ser utilizado para comparar, dentro de um mesmo pedossistema, um solo sob diferentes usos ou manejos agrícola. Nesse caso, em última análise, o índice S refletirá a redução da porosidade total (ou: da macroporosidade). E medir a porosidade total de um solo é muito mais fácil do que determinar seu índice S. Há, portanto, fortes evidências de que o índice S não possui valor adicional quando comparado com parâmetros mais simples já existentes.

O IHO

O equivalente do Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) na língua inglesa, o Least Limiting Water Range (LLWR), foi definido por Letey (1985) como a faixa de teores de água do solo na qual nem o potencial matricial, nem a aeração nem a resistência mecânica são limitantes ao crescimento das plantas. Verificam-se limitações por aeração, disponibilidade de água e resistência à penetração de raízes. Na sua concepção, e da forma que foi discutida no trabalho original, é uma definição bastante completa, no sentido de englobar diversos aspectos relacionados com as condições físicas do solo necessárias ao crescimento de plantas.

IHO: da definição ao indicador

Muitos estudos relatam a pequena associação entre IHO e resposta das plantas (Gubiani et al., 2013), o que parece contraditório a intenção de sua definição original. A explicação do fato reside na

prática, instalada na quase totalidade das publicações sobre o IHO, de se transformar sua *definição rica* num *indicador pobre* pela adoção de alguns valores limite obtidos de forma incompatível com a riqueza da definição original. Utilizam-se valores fixos de potencial para a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente; um teor de ar fixo que corresponderia às condições mínimas de aeração necessárias; e um valor fixo de pressão que corresponderia à resistência à penetração máxima das raízes. De acordo com Gubiani et al. (2013), em poucos dos trabalhos foram feitas medições biológicas, e ainda, nesses poucos casos as variáveis dependentes não foram analisadas por meio de regressões para investigar a eficiência do IHO, variável independente. Enquanto o IHO define limites, ele não define os valores dos limites, que devem ser obtidos em trabalhos experimentais ligados a áreas como a de física do solo, agrometeorologia e fisiologia de plantas.

Mais prejudicada fica a funcionalidade da definição original quando os esforços dos pesquisadores parecem se concentrar no sentido de se encontrar uma densidade crítica, a densidade do solo na qual o IHO se tornaria nulo, como feito por Beutler et al. (2008), Blainski et al. (2009), De Lima et al. (2012) e muitos outros. Dada a superficialidade com que são tratados os próprios limites que definem o IHO, não se pode esperar muita utilidade dos valores de densidade crítica assim encontrados. Gubiani et al. (2013) demonstram a falta de coerência no procedimento e nos resultados obtidos com alguns exemplos.

CONCLUSÕES

A busca por indicadores como o S e o IHO vai à contramão do entendimento sistêmico, seduzindo à simples determinação dos respectivos valores, deixando o estudo ou a preocupação com o real funcionamento do sistema para o segundo plano.

Ao contrário do que ocorre com modelos mais complexos, indicadores como o S e o IHO, da forma que são empregados pela maior parte dos pesquisadores, não demonstraram correlação com a produtividade de plantas.

À luz dessas constatações, a atenção dada pela física do solo no Brasil a esses indicadores que não se justifica. Tendo como finalidade a descrição de processos, os esforços de pesquisa em física do solo deveriam se deslocar na direção da física do solo mecanística em detrimento da busca por correlações empíricas como S e IHO que, atualmente, representa muito mais do que deveria na física do solo no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R.S. & STONE, L.F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient., 13(4): 382-388, 2009.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P.; CENTURION, M.A.P.C.; LEONEL, C.L. & FREDDI, O.S. Soil compaction by machine traffic and least limiting water range related to soybean yield. Pesq. Agropec. Bras., 43:1591-1600, 2008.
- BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A.C.A.; TORMENA, C.A.; FOLEGATTI, M.V. & GUIMARÃES, R.M.L. Intervalo hídrico ótimo num nitossolo vermelho distroférrico irrigado. R. Bras. Ci. Solo, 33:273-281, 2009.
- CAVALIERI, K.M.V.; DE CARVALHO, L.A.; DA SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & TORMENA, C.A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. R. Bras. Ci. Solo, 35: 1541-1549, 2011.
- 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. I – atributos físicos do solo. R. Bras. Ci. Solo, 35: 589-602, 2011.
- DA SILVA, A.P.; KAY, B.D. & PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 58:1775-1781, 1994.
- DE LIMA, C.L.R.; MIOLA, E.C.C.; TIMM, L.C.; PAULETTO, E.A. & DA SILVA, A.P. Soil compressibility and least limiting water range of a constructed soil under cover crops after coal mining in Southern Brazil. Soil Till. Res. 124:190-195, 2012.
- DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma, 120: 201-214, 2004.
- GUBIANI, P.I.; REICHERT, J.M. & REINERT, D.J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. R. Bras. Ci. Solo, 37:1-10, 2013.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. Adv. Soil Sci., 1:277-294, 1985.
- PEREIRA, F.S.; ANDRIOLI, I.; PEREIRA, F.S.; OLIVEIRA, P.R.; CENTURION, J.F.; FALQUETO, R.J. & MARTINS, A.L.S. Qualidade física de um Latossolo vermelho submetido a sistemas de manejo avaliado pelo índice S. R. Bras. Ci. Solo, 35: 87-95, 2011.
- DA 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. Biosci. J. 28:338-345, 2012.
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44: 892-898, 1980.
- VARANDAS, J.M.M. Avaliação da qualidade física do solo em um escala de microbacia. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciências. Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo. 2011. 88p.

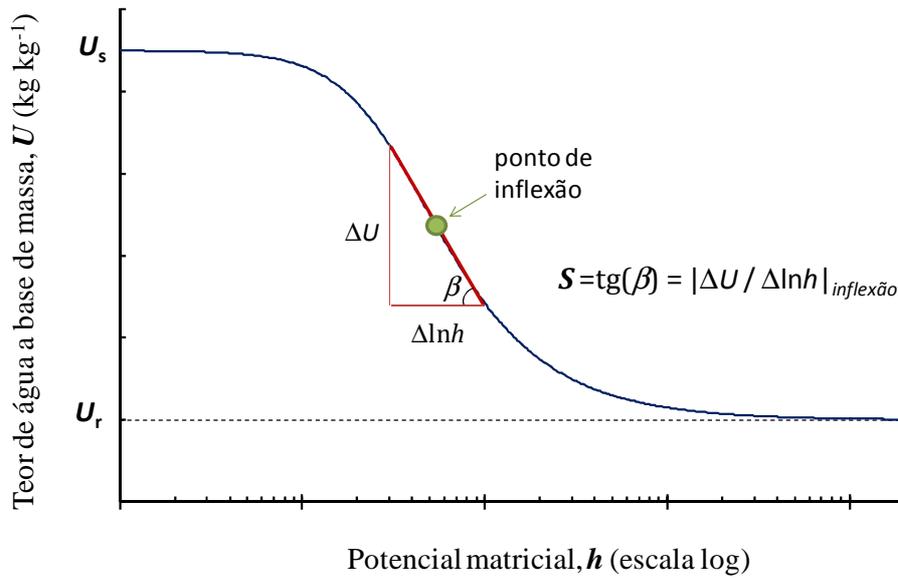


Figura 1 – Ilustração esquemática da definição do índice S: S é igual ao módulo do tangente do ângulo β .

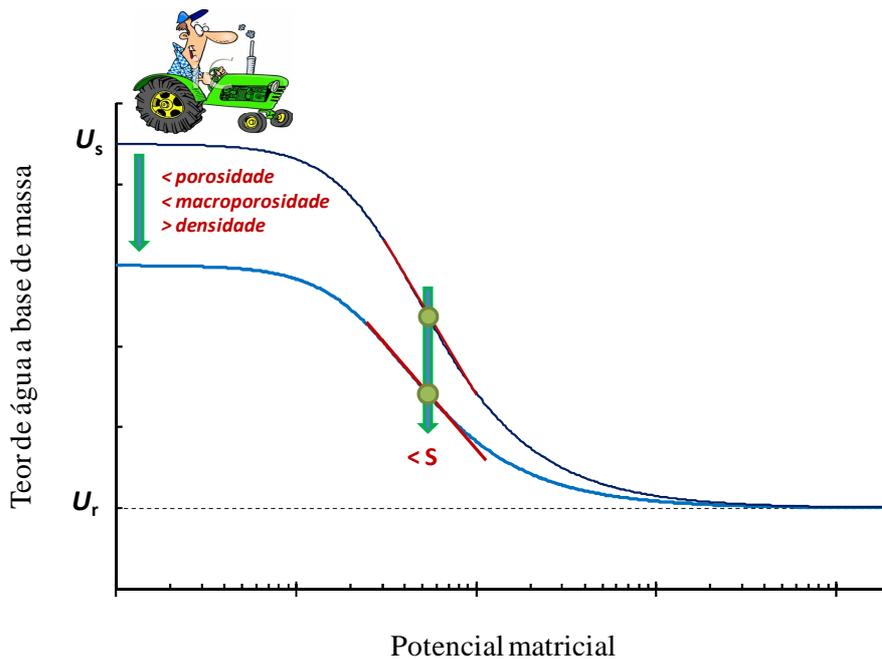


Figura 2 – Compactação versus índice S: a compactação por tráfego de máquinas ou pisoteio de animais reduz a macroporosidade e a porosidade total, reduzindo assim a diferença entre o teor de água na saturação (U_s) e residual (U_r). O índice S diminui proporcionalmente a essa redução.