

Novos índices baseados no modelo de van Genuchten como indicadores da qualidade física do solo

Robson André Armindo⁽¹⁾

⁽¹⁾ professor; Universidade Federal do Paraná; Curitiba, Paraná; ramindo@ufpr.br

RESUMO: O índice S apresentado por Dexter (2004) tem sido utilizado para avaliar a qualidade física do solo (QFS), contudo há algumas controvérsias na sua definição e no valor arbitrado ($S = 0.035$). Entende-se que um parâmetro revelador da estrutura do solo não pode e nem deve ser arbitrado. A QFS deve ser relacionada à matéria orgânica (MO), drenagem, chuvas intensas ou irrigação, armazenamento e transferência de calor e, obviamente, sustentação e produção dos vegetais. Neste trabalho, teve-se por objetivo propor os índices A_a , WR_a , A_r , WR_r e AW_r para avaliação da qualidade física (QF) em ecossistemas terrestres vegetados, fundamentando-os na integral da curva de retenção da água no solo (CRAS) e na relação entre a densidade de fluxo (q) e a condutividade hidráulica do solo $[K(\theta)]$. Todos os índices foram definidos e validados para 74 CRAS de alguns solos brasileiros e para o banco de dados UNSODA, comparando-se os resultados entre si, bem como o efeito de seus respectivos manejos.

Termos de indexação: curva de retenção da água no solo, capacidade de campo e aeração do solo.

INTRODUÇÃO

Na ciência do solo, diversos autores propuseram modelos para ajustar a CRAS, como van Genuchten (1980). Diversas aplicações na Física do Solo e na Irrigação e Drenagem são realizadas valendo-se dessa equação ou de alguns de seus parâmetros de ajuste.

Prevedello (1996) apresentou a capacidade específica de água no solo como a primeira derivada da CRAS e uma equação para estimar o tamanho médio de poros no solo que armazenam mais água, sendo fundamentais para avaliar a QFS.

Dexter (2004) propôs um índice (S), também baseado na CRAS, para avaliar a QF de solos ou para avaliar o efeito da realização de manejos diferenciados em um mesmo solo. Contudo, para obter os parâmetros necessários para o cálculo de S , o autor define a regressão da CRAS com valores de umidade gravimétrica (U , $kg.kg^{-1}$) e com o logaritmo natural do potencial matricial, $[dU/d \ln(h)]$. Certamente essa regressão não

considera a geometria porosa do solo, uma vez que a umidade utilizada não é volumétrica. Além disso, a eq.(A5) apresentada por Dexter (2004) no apêndice de seu trabalho, conduz a uma informação incorreta, uma vez que o módulo do potencial matricial do ponto de inflexão da CRAS é definido por $[h_i = (1/\alpha)m^{(1/n)}]$. Essa constatação também foi observada por Santos et al. (2011), que discutem perfeitamente os perigos e as variações que podem ocorrer quando se deriva a CRAS nas formas $[dU/dh]$, $[dU/d \ln(h)]$ e $[dU/d \log(h)]$.

Santos et al. (2011) e van Lier (2012) comentam que embora o valor ($S = 0.035$) tenha sido definido em função da vasta experiência científica do autor para solos de países europeus, não houve sua demonstração física e matemática. Essa demonstração também não foi realizada para os valores ($S = 0.025$ e 0.045) encontrados experimentalmente por Andrade & Stone (2009) para solos do cerrado brasileiro. Assim, entende-se que S não é o melhor indicador para revelar o potencial matricial ótimo, ou o diâmetro de poros que predomina no processo de retenção da água e de aeração no solo.

A prática da análise da QFS, baseando-se CRAS, não deve ser realizada unicamente pelo ponto de inflexão $[d^2\theta/dh^2 = 0]$. Neste trabalho, teve-se por objetivo apresentar novos índices alternativos para avaliação da QFS fundamentados em toda CRAS e na relação entre a q e a $K(\theta)$.

MATERIAL E MÉTODOS

Concepção e fundamentação teórica

Entende-se que para um solo possuir QF, esse deve apresentar simultaneamente capacidade de retenção de água e aeração. Assim, assumiram-se as seguintes premissas: i) um solo virgem que sustenta uma mata nativa (MN) pode possuir um padrão de QF desejado; ii) para se alcançar um eficiente projeto de drenagem, o solo deve possuir elevados índices de aeração; iii) um solo a ser cultivado com culturas agrícolas deve possuir índices suficientes de água e ar para suprir suas necessidades hídricas e de aeração; e iv) o efeito da MO na QFS estará sempre diretamente relacionado com a CRAS.

Mesmo com essas premissas, percebe-se a complexidade em abranger todas as situações que envolvam a utilização do solo para estabelecer um padrão de QFS. Como exemplo, pode-se preferir realizar o cultivo em solos com significativo teor de areia ao invés de argila para que a macroporosidade ofereça acelerada absorção de um nutriente pela raiz, ou seja, para que ocorra um processo inerte.

Por meio da CRAS determinam-se as umidades volumétricas na saturação (θ_s), na capacidade de campo (θ_{cc}) e no ponto de murchamento permanente (θ_{PMP}), inferindo-se a aeração pela porosidade drenável ou livre de água (α_D), determinada pela diferença ($\alpha_D = \theta_s - \theta_{cc}$).

Admite-se que quanto mais comprimida for a CRAS ao eixo da umidade, menor é o potencial de retenção da água no solo. Aceita-se o armazenamento da água no solo (Arm) pela integração da umidade em toda profundidade desejada (z), ou seja, $Arm = \int_{z_i}^{z_f} \theta(z) dz$ (**Figura 1-a**).

Portanto, espelhando-se essa curva ao eixo da umidade (θ), admitiu-se que quanto maior for

$\int_{\theta_{PMP}}^{\theta_{cc}} h(\theta) d\theta$, maior o valor de Arm . Assim, há a concepção que o solo da CRAS representada pela linha tracejada possua maior potencial de Arm do que o solo representado pela linha contínua.

Os índices propostos

O primeiro índice proposto é o índice absoluto do potencial de aeração do solo (A_a), representado geometricamente pela área de cor preta (**Figura 1-b**). O segundo é o índice absoluto do potencial de retenção de água (WR_a), sendo representado geometricamente pela área de cor cinza (**Figura 1-b**).

Para o cálculo desses índices, estimou-se a θ_{cc} segundo Loyola & Prevedello (2003), que assumem a ocorrência da θ_{cc} quando a razão entre q e $K(\theta)$ atinge dada porcentagem (p) da condutividade hidráulica saturada (K_s). Os valores de 1,0 e 1,5% foram utilizados, conforme sugerem Andrade & Stone (2011). Com os valores de θ_{cc} , calcularam-se os potenciais matriciais correspondentes.

Índices para avaliar a condição atual da QFS em relação a seu estado anterior também foram propostos. Assim, o terceiro é o índice do potencial relativo de aeração do solo (A_r), que pode ser calculado antes e após qualquer manejo realizado.

O quarto é o índice de potencial relativo de retenção de água no solo (WR_r). Geometricamente, o A_r pode ser representado pela relação entre a área preta e a soma das áreas cinza e preta sob a CRAS; e o WR_r pela relação entre a área cinza e a soma das áreas cinza mais preta (**Figura 1-b**).

O último índice proposto compara o potencial total de aeração do solo em relação ao potencial total de retenção de água aos vegetais (AW_r). Certamente, esse índice representa um dos mais importantes significados na qualidade física em ecossistemas terrestres vegetados, sendo geometricamente representado pela relação entre as áreas de cor preta e de cor cinza sob a CRAS (**Figura 1-b**).

Para validação dos índices utilizaram-se 74 CRAS de diversos solos brasileiros e do banco de dados UNSODA, apresentadas nos trabalhos de Leij et al. (1996), Klein & Libardi (2002) e outros. Entretanto, definir quais valores dos índices representa a QFS depende das premissas *i*, *ii*, *iii* e *iv* apresentadas anteriormente, devido à complexidade do sistema água-solo-planta-atmosfera.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Validação

Realizou-se para todas as 74 CRAS avaliadas a verificação da hipótese de substituição dos valores encontrados pelo índice A_a aos valores de α_D , a fim de anular a viabilidade de A_a . Contudo, os valores se apresentaram significativamente diferentes, confirmando que A_a não pode ser substituído por α_D . Verificações semelhantes foram realizadas comparando-se: WR_a ao valor de Água Disponível (AD), obtido pela diferença ($\theta_s - \theta_{PMP}$); A_r ao valor da relação $[\alpha_D / (\theta_s - \theta_{PMP})]$; WR_r ao valor da relação $[AD / (\theta_s - \theta_{PMP})]$; e AW_r ao valor da relação $[\alpha_D / AD]$. Em nenhuma delas houve igualdade nas hipóteses testadas, já que os índices propostos foram calculados em função de áreas definidas sob a CRAS e na relação entre q e $K(\theta)$.

Não houve diferença significativa no cálculo da θ_{cc} em função dos valores de p testados (**Figura 2-a**), assim como em resultados de Andrade & Stone (2011). Essa diferença também não foi verificada no cálculo dos índices WR_a , A_r , WR_r e AW_r . Porém, para o índice A_a , constatou-se essa diferença determinando-se que o cálculo de todos os índices

deva ser realizado com valor de $p = 0,010$ (**Figura 2-b**).

Alguns Resultados

Para um Argissolo Amarelo, no município de Boca da Mata-AL, não houve variabilidade nos resultados verificando-se o aumento de A_a em função do aumento da profundidade do solo para MN, cultivo em sequeiro (CS), cultivo irrigado (CI) e vinhaça (V) (**Figura 3-a**). Ademais, na profundidade de 0,2 a 0,8 m, o CI proporcionou maior A_a . O descarte de vinhaça pode ter colaborado com a retenção de água nesse solo, pois para toda a profundidade do solo analisada foram observados altos valores de WR_a comparados aos valores dos outros sistemas de cultivo (**Figura 3-b**). Identificou-se adequada QFS para o CI, pois A_r e AW_r foram adequados, sem comprometer o WR_r (**Figuras 3-c,d,e**).

Para as doze CRAS do UNSODA, verificou-se maior A_a para solos de textura Argilo Siltosa e Franco Argilo Siltosa (**Figura 4-a**). Portanto A_a é influenciado por várias práticas de manejo, e não somente pela macroporosidade do solo. Já os solos de textura Siltosa e Franco Argilo Siltosa apresentaram maiores WR_a (**Figura 4-b**). A textura Arenosa apresentou altos A_r e AW_r , mostrando o forte domínio da macroporosidade sobre o potencial de retenção de água desse solo (**Figura 4-c**). Assim, para solos arenosos, a α_D governa a aeração frente aos distintos manejos que podem ter ocorrido aos solos que compuseram o banco de dados UNSODA. Independentemente do manejo aplicado, para monitorar a QF de solos arenosos bastaria monitorar os atributos físicos convencionais como densidade, porosidade, θ_{cc} e suas relações, sem necessitar de índices de QFS, como também sugere van Lier (2012).

Ressalta-se que a MO não foi apresentada em todos os trabalhos citados e ela afetaria os índices, pois seu efeito seria diretamente revelado no ajuste das CRAS, desde que essas sejam construídas com amostras não deformadas. Essa é uma vantagem dos índices, pois nos cálculos da porosidade total, densidade e textura do solo é desconsiderada a MO. Regressões entre os teores de MO determinados em amostras com cada um dos parâmetros do ajuste podem mostrar isso.

CONCLUSÕES

Cinco novos índices para avaliar a QFS, fundamentados na integração do modelo de van Genuchten (1980) e na relação entre q e $K(\theta)$ são propostos.

Com eles, pode-se avaliar a QF de um único ou de diversos solos, sob o efeito atual ou temporal dos manejos.

Verifica-se a necessidade de considerar a geometria porosa do solo e o teor de MO na avaliação da QFS, além das exigências das espécies vegetadas para seus potenciais crescimentos.

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*, 13:382-388, 2009.
- ANDRADE, R.S.; STONE, L.F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solo sob cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15:111-116, 2011.
- 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.
- KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 26:857-867, 2002.
- LEIJ, F.J.; ALVES, W.J.; van GENUCHTEN, M.T.; WILLIAMS, J.R. The Unsaturated Soil Hydraulic Database-UNSODA. *Agricultural Research Service*, 1:1-45, 1996.
- LOYOLA, J.M.T.; PREVEDELLO, C.L. Modelos analíticos para predição do processo da redistribuição da água no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:783-787, 2003.
- PREVEDELLO, C.L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba, 1996. 446p.
- SANTOS, G.G.; SILVA, E.M.; MARCHÃO, R.L.; SILVEIRA, P.M.; BRUAND, A.; JAMES, F.; BECQUER, T. Analysis of physical quality of soil using the water retention curve: validity of the S-index. *Comptes Rendus Geoscience*, 343:295-301, 2011.
- van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of American Journal*, 44:892-898, 1980.
- van LIER, Q. J. Índice S : Um indicador da qualidade física do solo?. *Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 24-27, 2012.

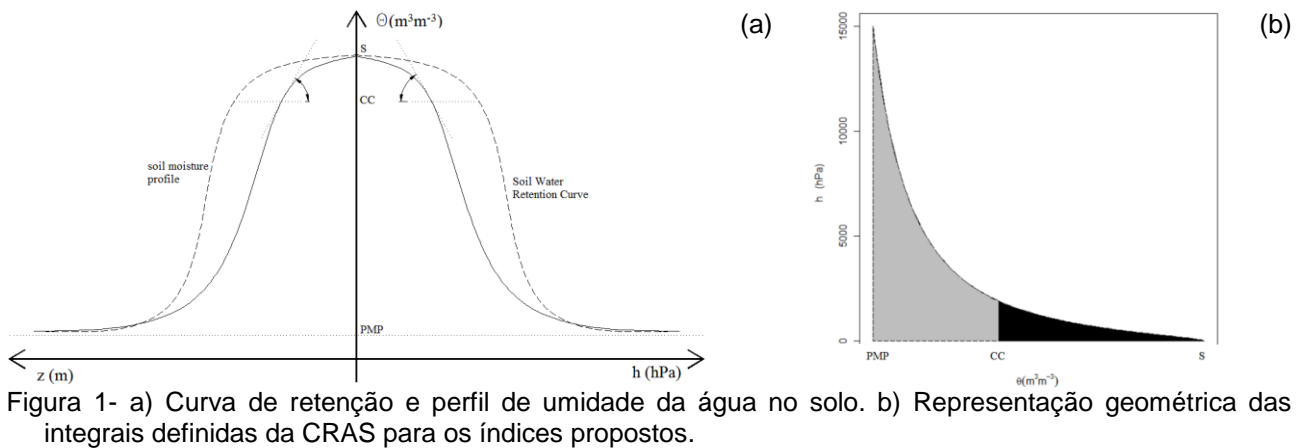


Figura 1- a) Curva de retenção e perfil de umidade da água no solo. b) Representação geométrica das integrais definidas da CRAS para os índices propostos.

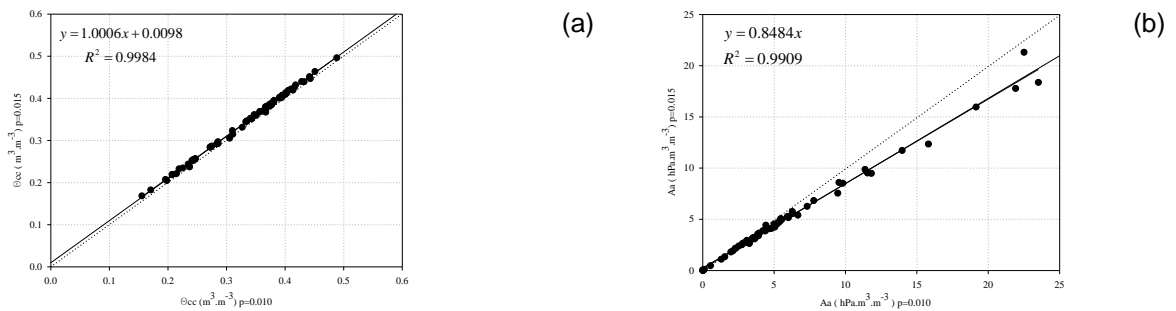


Figura 2 – Retas 1:1 analisadas com valores p de 0.01 e 0.015 para 74 CRAS. a) θ_{cc} , b) A_a .

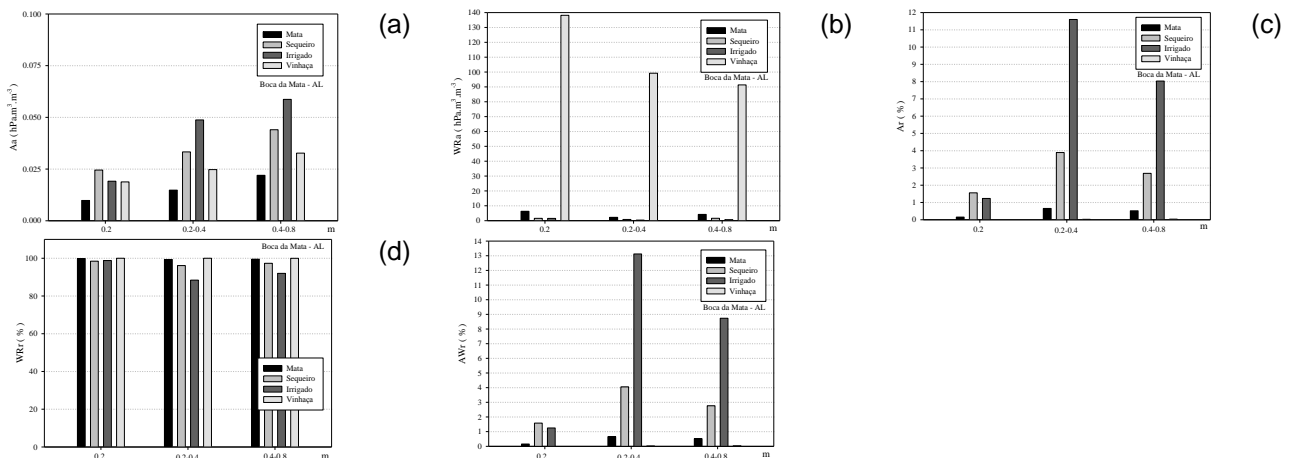


Figura 3 – Índices A_a , WR_a , A_r , WR_r e AW_r para profundidades de solos sob mata nativa, cultivo em sequeiro, cultivo irrigado e sob descarte de vinhaça analisados com valores p de 0.01 para o município de Boca da Mata-AL.

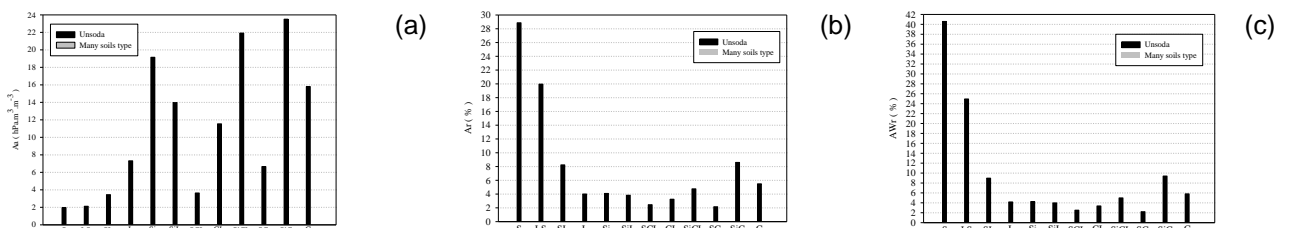


Figura 4 – Índices A_a , A_r e AW_r para solos da USDA-SCS com valores p de 0.01 segundo banco de dados UNSODA. Areia(S), Areia Franca(LS), Franco Arenosa(SL), Franco(L), Silte(S), Franco Siltosa(SiL), Franco Argilo Arenosa(SiCL), Franco Argilosa(CL), Franco Argilo Siltosa(SiCL), Argila Arenosa(SC), Argila Siltosa(SiC) e Argila(C).