



Intervalo hídrico ótimo da camada superficial de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico do Estado de São Paulo (Unidade Serrinha)¹

Cauê Cesaro Pinheiro⁽²⁾; Mara de Andrade Marinho⁽³⁾;
Michender Werison Motta Pereira⁽⁴⁾; Augusto Fernandes Nalin⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho realizado com bolsa de iniciação científica do CNPq/ PIBIC recebida pelo primeiro autor.

⁽²⁾ Graduando em Engenharia Agrícola; Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP; Campinas, SP; caue.cp@hotmail.com.

⁽³⁾ Prof^a. Livre Docente; Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP;

⁽⁴⁾ Doutorando em Engenharia Agrícola; Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP;

⁽⁵⁾ Eng^o. Agrícola; DPR Engenharia.

RESUMO: O intervalo hídrico ótimo (IHO) é um indicador da qualidade estrutural do solo para desenvolvimento das culturas, contabilizando a faixa de umidade em que são mínimas as limitações devidas ao excesso ou à falta de água, à falta de ar e à resistência do solo à penetração. O objetivo do estudo foi validar a utilização de amostras deformadas acondicionadas em cilindros para determinação desse indicador. Para validação dos resultados foi adotado IHO construído para o mesmo solo empregando amostras indeformadas como preconizado na metodologia original. Foi avaliada a camada superficial de um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico, de textura franco arenosa. Os resultados obtidos revelam semelhanças entre o IHO construído neste trabalho e aquele do trabalho de referência, atribuindo-se as diferenças nos parâmetros físicos mais à variação dos teores de argila em um (110 g kg⁻¹) e outro caso (70 g kg⁻¹), respectivamente, do que propriamente ao tipo de amostra empregada nos ensaios. Os resultados obtidos estimulam a testar essa variação metodológica em outros tipos de solos, por permitir o controle acerca da variação requerida da densidade do solo.

Termos de indexação: indicador de qualidade do solo, resistência do solo à penetração, micropenetrômetro.

INTRODUÇÃO

O intervalo hídrico ótimo (IHO), tradução proposta por Tormena et al., (1998) para o termo em inglês *Least Limiting Water Range* (Silva et al., 1994), é um indicador da qualidade estrutural do solo para crescimento radicular e desenvolvimento das culturas. Esse indicador contabiliza o intervalo de umidade, em uma faixa ampla de variação da densidade do solo (D_s), em que são mínimas as limitações devidas ao excesso ou à falta de água, à

falta de ar e à resistência do solo à penetração (SILVA et al., 1994). Contudo, considerando que ao extrair amostras indeformadas não se tem de antemão a informação sobre se toda a faixa necessária de variação da D_s está efetivamente representada nas amostras, propõe-se determinar o IHO a partir de amostras deformadas, construídas em anéis volumétricos (corpos de prova), aos quais se aplicam os níveis desejados de D_s . A pressuposição básica é que os arranjos estruturais que se estabelecem nos anéis representam realizações possíveis das estruturas encontradas naturalmente nos solos. Para validar essa proposição metodológica, e avaliar o quanto se perde ou não de informação, adotou-se o IHO construído para a mesma unidade taxonômica a partir de amostras indeformadas, que foi adotado como referência. O objetivo do estudo é validar a utilização de amostras deformadas para determinação do IHO tomando como referência IHO construído para o mesmo solo, mas a partir de amostras indeformadas como preconiza a metodologia original.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do Solo

O solo em estudo é um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico, pertencente à *Unidade Serrinha* do Levantamento Semidetalhado de Solos da Quadrícula de São Carlos (Oliveira & Prado, 1984). Para determinação do IHO, o solo foi amostrado na profundidade de 0,0-0,15m, em barranco nas proximidades do córrego Querosene, na região de São Pedro, SP (Coordenadas S 22°29'00" e W 47°51'47").

Da análise granulométrica, realizada pelo método da pipeta conforme descrito em Dourado et al. (2012), determinaram-se os teores de areia total (777 g kg⁻¹), silte (104 g kg⁻¹) e argila (119 g kg⁻¹), que definem classe textural *franco arenosa*. A densidade do solo máxima, determinada pelo ensaio de Proctor (Pinto, 2002), foi calculada como sendo



de $D_{s\text{máx}}=1,87 \text{ kg dm}^{-3}$, a 12,4% de umidade. A densidade de partículas, determinada pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997), foi calculada como sendo de $D_p=2,55 \pm 0,15 \text{ kg dm}^{-3}$, tendo sido empregada na determinação da porosidade total calculada, que por sua vez foi usada no cálculo do volume de água na saturação do solo.

Trabalho de Referência

Para fins de validação, utilizou-se como referência o trabalho de Beutler et al (2009), que determinaram o IHO para a mesma unidade taxonômica empregando amostras indeformadas, como preconizado na metodologia original (Silva et al., 1994). Nesse caso, a variação da D_s foi obtida a partir do tratamento do solo com várias passagens de trator. Destaque-se, no entanto, que no trabalho de referência também foi modificada a metodologia original no que tange a um menor número de níveis de pressão (0,006MPa, 0,010MPa, 0,033MPa, 0,060MPa, 0,10MPa e 0,3MPa) e de D_s ($1,5 \text{ kg dm}^{-3}$, $1,6 \text{ kg dm}^{-3}$, $1,7 \text{ kg dm}^{-3}$) considerados nos ensaios.

Construção dos corpos de prova

Os cilindros ou corpos de prova foram construídos a partir do acondicionamento da TFSA em anéis volumétricos do tipo Köpeck em cinco níveis de D_s : $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$, $1,5 \text{ kg dm}^{-3}$, $1,6 \text{ kg dm}^{-3}$, $1,7 \text{ kg dm}^{-3}$ e $1,8 \text{ kg dm}^{-3}$ (Figura 1).

O delineamento experimental (5x9x4) constou de 5 níveis de densidade do solo, 9 pressões e 4 repetições, totalizando 180 corpos de prova, 36 por nível de D_s . Na determinação do IHO, os cilindros representativos da D_s de $1,8 \text{ kg dm}^{-3}$ não puderam ser empregados, porque não se conseguiu a saturação completa das amostras mesmo após repetidas tentativas.

Levantamento das curvas de retenção de água no solo e realização dos ensaios de resistência do solo à penetração (RP)

A curva de retenção de água no solo, que expressa a relação entre o potencial mátrico (Ψ) e o conteúdo volumétrico de água no solo (θ) foi determinada seguindo metodologia de Klute (1986), aplicando-se as seguintes pressões aos corpos de prova: 0,002; 0,004; 0,006; 0,01; 0,033, 0,060, 0,1; 0,3 e 0,5 MPa.

Os ensaios de RP foram realizados com micropenetrômetro eletrônico de bancada, marca Marconi, com diâmetro do cone de 4,0 mm e velocidade de penetração de 1 cm min^{-1} , acoplado a microcomputador, sendo três ensaios por cilindro.

Construção do IHO

O IHO foi determinado com base nos procedimentos descritos por Tormena et al. (1998) e Silva (2007). O índice é calculado pela diferença entre o limite superior e inferior dos conteúdos

volumétricos de água, sendo que o limite superior é definido ou pela umidade na capacidade de campo (θ_{cc} , 0,01MPa) ou pela umidade na porosidade limítrofe de aeração (θ_{pa} , $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e o limite inferior do intervalo é definido ou pela umidade onde à resistência do solo à penetração atinge o valor crítico (θ_{rp} , 2MPa, Taylor et al., 1966) ou pela umidade no ponto de murcha permanente (θ_{pmp} , 1,5 MPa). Na condição ideal (solo não degradado), o IHO é definido pelas curvas de umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, igualando-se ao conteúdo de água disponível do solo ($AD=\theta_{cc} - \theta_{pmp}$).

A partir dos dados das curvas de retenção e dos ensaios de RP, o IHO foi construído utilizando equações ajustadas por regressão não linear, empregando o algoritmo de Leverberg-Marquardt, conforme apresentado por Silva et al. (1994), e implementadas em planilha eletrônica Excel® por Leão & Silva (2004), sendo que os parâmetros das equações foram calculados por regressão dos mínimos quadrados em rotinas implementadas em MATLAB®.

Para efeito de comparação com o trabalho de referência, primeiramente foi determinado um IHO empregando as mesmas pressões e níveis de densidade do solo do trabalho de Beutler et al. (2009). Porém, outro IHO foi determinado empregando o conjunto total de dados levantados, isto é, nove pressões em quatro níveis de D_s , similar ao preconizado na metodologia original.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 apresenta o IHO para a camada superficial (0,0-0,15m) do Argissolo Vermelho-Amarelo sob estudo, determinado empregando as mesmas pressões e níveis de densidade do solo do trabalho de Beutler et al. (2009). A figura 3 ilustra o gráfico do IHO do trabalho de referência. A observação do gráfico da figura 2 ilustra que a resistência do solo à penetração (RP) define o limite inferior do IHO em toda faixa de variação da D_s . Também no IHO do trabalho de referência (Figura 3) a RP limita a faixa inferior do IHO em praticamente toda extensão de variação da D_s . Na figura 2, o limite superior do IHO é definido pela curva da umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{cc}) até $D_s=1,62 \text{ kg dm}^{-3}$, quando a curva da umidade volumétrica na porosidade de aeração limítrofe (θ_{pa}) é que passa a limitar o IHO. Já o gráfico da figura 3 (referência) ilustra que o limite superior do IHO é limitado pela curva da umidade volumétrica na capacidade de campo em toda extensão de variação da D_s , não se observando deficiência de aeração.

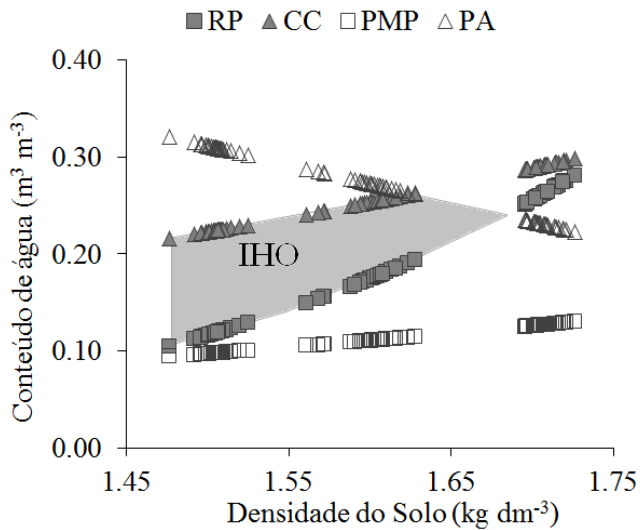


Figura 2. Variação da umidade volumétrica (θ) em função da densidade do solo (D_s) nos limites críticos de capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência do solo à penetração de 2,0 MPa (RP). A área em cinza representa o IHO do solo para a profundidade 0,0-0,15 m, definido a partir de seis pressões e três níveis de D_s .

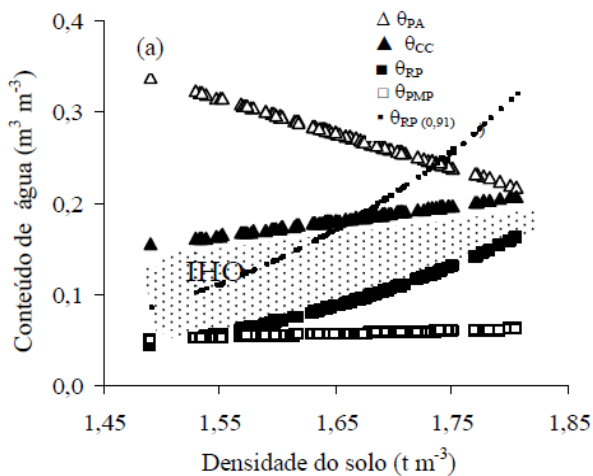


Figura 3. Extraída de Beutler et al. (2009), representa o IHO (área hachurada) do solo do trabalho de referência, bem como a variação da umidade volumétrica (θ) em função da densidade do solo (D_s) nos limites críticos de capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência do solo à penetração de 2,0 MPa (RP).

Na **figura 2**, observa-se que o valor da densidade do solo crítica (D_{sc}), na qual o IHO iguala a zero se dá quando a D_s atinge $1,68 \text{ kg dm}^{-3}$. No IHO do trabalho de referência, porém, observa-se pela **figura 3** que a D_{sc} (IHO = 0) não foi atingida. Observa-se também um deslocamento para cima no eixo Y da **figura 2** das curvas de umidade volumétrica no ponto de murcha permanente e na

capacidade de campo, que iniciam respectivamente em $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, enquanto que no gráfico do trabalho de referência (**Figura 3**) esses valores são respectivamente de $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Atribui-se as diferenças observadas aos teores de argila em cada caso, de apenas 70 g kg^{-1} no Argissolo Vermelho-Amarelo arênico do trabalho de referência, e de 119 g kg^{-1} no solo da mesma classe do presente trabalho. Na definição da unidade taxonômica, essa variação do teor de argila é natural e admissível. Do ponto de vista da física do solo, no entanto, esse contraste no teor de argila predispõe a diferenças no volume de microporos, na retenção de água e na resistência do solo à penetração, que explicariam as diferenças observadas nos IHOs.

A **figura 4** ilustra o IHO construído a partir de nove pressões e quatro níveis de D_s . A consideração de um nível a mais de D_s ($1,4 \text{ kg dm}^{-3}$) permitiu observar o valor de densidade do solo ($D_s=1,44 \text{ kg dm}^{-3}$) no qual a resistência à penetração passa a limitar o limite inferior do IHO, assemelhando-se ao observado na **figura 3** (referência). Também se observa que a curva da umidade volumétrica no ponto de murcha permanente inicia em umidade volumétrica inferior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, assemelhando-se ao observado no gráfico da **figura 3**. Depreende-se que a construção do IHO a partir de uma faixa mais ampla de variação da densidade do solo e empregando mais pressões para levantamento das curvas de retenção de água permitiu obter maior aproximação com os parâmetros do IHO do trabalho de referência.

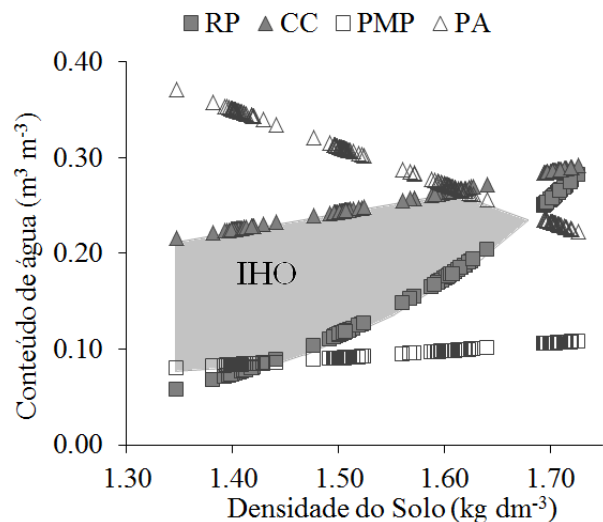


Figura 4. Variação da umidade volumétrica (θ) em função da densidade do solo (D_s) nos limites críticos de capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), porosidade de aeração de 10% (PA) e resistência do solo à penetração de 2,0 MPa (RP). A área em cinza representa o IHO do solo para a profundidade 0,0-0,15 m, definido a partir de nove

pressões e quatro níveis de D_s .

CONCLUSÕES

O IHO construído a partir de amostras deformadas acondicionadas em anéis volumétricos se configurou mais restritivo em comparação ao IHO do trabalho de referência.

As diferenças observadas não podem ser atribuídas unicamente ao tipo de amostra utilizada no ensaio porque os solos, embora de textura arenosa, possuem diferenças nos teores de argila que podem explicar aquelas diferenças.

Os resultados obtidos estimulam a testar essa variação metodológica em outros tipos de solos, por apresentar a vantagem de garantir o controle acerca da variação requerida da densidade do solo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq/PIBIC pela bolsa de iniciação científica concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; MENGANATTO, L. H., BARBOSA ALVES, J.; CARDOSO WAGNER, G. P. Impacto do tráfego de máquinas na qualidade física do solo e produtividade de milho em Argissolo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31:359-364, 2009.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

KLUTE, A. Tillage effects on the hydraulic properties of soil: a review. In: VAN DOREN, D.M.; ALLMARAS, R.R.; LINDEN, D.R.; WHISLER, F.D. (Eds.) *Predicting tillage effects on soil physical properties and processes*. Madison: ASA, 1982. p.29-43.

LEAO, T. P.; SILVA, A. P. A simplified Excel® algorithm for estimating the least limiting water range of soils. *Scientia .Agricola*, 61:649-654, 2004.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478p.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de São Carlos. II Memorial Descritivo. Boletim Técnico Instituto Agrônômico nº 98. Convênio EMBRAPA/ CPA/ IA, Campinas.

PINTO, C.S. Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas. 2ª Ed. Oficina de textos. São Paulo. 2002, 355p.

SAVAGE, M.J.; RITCHIE, J.T.; BLAND, W.L.; DUGAS, W.A. Lower limit of soil availability. *Agronomy. Journal*, 88:844-851, 1996.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. *Soil Science Society of America Journal*, 58:1775-1781, 1994.

SILVA, L. F. S. DA. Aplicação do intervalo hídrico ótimo no monitoramento da qualidade física de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP, SP) Campinas, 2007.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. R. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. *Soil Science*, 102:p. 18-22, 1966.

TORMENA, C. A, SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22: 573-581, 1998.



Figura 1. Imagens da construção dos cilindros ou corpos de prova para determinação do IHO.