

UTILIZAÇÃO DAS RELAÇÕES ENERGIA/UMIDADE NA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DOS SOLOS¹

CLEDSON GOMES CIRINO² e HUGO O. CARVALHO GUERRA³

RESUMO - Três solos diferentes (arenoso, barro-argilo-arenoso e argilo-arenoso) foram usados para testar a utilização da curva característica de umidade do solo na determinação de alguns parâmetros físico-hídricos do solo, importantes no planejamento da irrigação. Os resultados obtidos desta forma, referentes a cada parâmetro (porosidade total, porosidade efetiva, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e condutividade hidráulica), foram comparados estatisticamente com os obtidos da forma convencional de campo ou laboratório. Os resultados permitem concluir que o método proposto constitui uma confiável alternativa para a determinação dos parâmetros estudados.

Termos para indexação: curva característica de umidade, porosidade, capacidade de campo, ponto de murcha, condutividade hidráulica.

USE OF THE ENERGY/SOIL WATER CONTENT RELATIONSHIP FOR THE PHYSICAL-HYDRIC CHARACTERIZATION OF SOILS

ABSTRACT - Three different soils (sandy, sandy clay loam and sandy clay) were used to test the use of the soil moisture characteristic curve for the physical-hydric characterization of soils. The obtained results (total porosity, effective porosity, field capacity, permanent wilting point and hydraulic conductivity) were statistically compared with those obtained by laboratory or field conventional methods. The results allow to conclude that the proposed method is a reliable alternative for the determination of the studied parameters.

Index terms: retention curve, porosity, field capacity, wilting point, hydraulic conductivity.

INTRODUÇÃO

Uma irrigação projetada com dados incorretos pode inviabilizar e geralmente inviabiliza um projeto. O pleno conhecimento dos parâmetros necessários para a elaboração de um projeto de irrigação racional, tais como: facilidade com que a água movimentar-se no solo, disponibilidade de água no solo para as plantas, aeração e porosidade efetiva do solo, é indispensável no processo de planejamento e dimensionamento da irrigação e drenagem de terras

destinadas à agricultura. A determinação destes parâmetros, obtidos no campo ou no laboratório, geralmente é prejudicada por problemas de falta de equipamentos, pelo excessivo tempo de que sua determinação precisa, ou, simplesmente, pelo custo. No entanto, existem critérios ou métodos empíricos que permitem estimar estes parâmetros sem precisar serem determinados diretamente no campo ou laboratório.

O objetivo do presente trabalho é avaliar um método que utiliza a curva característica de umidade do solo para inferir algumas das propriedades físico-hídricas necessárias na elaboração de projetos de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

Os testes foram conduzidos em três solos de diferentes classes texturais: arenoso, barro-argilo-arenoso e argilo arenoso, localizados no Câmpus II da UFPB, em Campina Grande, PB (Tabela 1).

¹ Aceito para publicação em 6 de outubro de 1994.

Extraído da Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor ao Dep. de Engen. Agríc. da UFPB.

² Eng. Agríc., M.Sc., Secret. de Planej. Prefeit. Municipal de Campina Grande, PB.

³ Eng. Agr., Ph.D., Prof., Dep. de Engen. Agríc./CCT/UFPB, CEP 58107-720 Campina Grande, PB.

As propriedades físico-hídricas inferidas da curva de retenção da água do solo e comparadas com valores obtidos no campo e laboratório foram: porosidade total, porosidade efetiva, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, condutividade hidráulica e condutividade capilar.

A porosidade total foi determinada no laboratório através do método do cilindro (Fokkens & De Koning, 1964) e calculada utilizando a relação entre a densidade global e a densidade das partículas (Blake, 1965). A porosidade efetiva e as condutividades hidráulicas foram determinadas, respectivamente, pelo método de Coelho (Coelho, 1984) e através do permeâmetro de carga constante e variável, dependendo do tipo de solo (Klute, 1965).

A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente foram determinados *in situ* pelo método de campo (Scardua, 1972) e pelo método fisiológico (Kiehl, 1979), respectivamente. No método fisiológico, uma planta indicadora, caupi (*Vigna unguiculata*), foi desenvolvida no solo, à capacidade de campo, até apresentar três pares de folhas permanentes. Neste momento, cessou-se a irrigação e isolou-se a superfície do solo com parafina sólida. Cada vez que a planta apresentava sintoma de murchamento, colocava-se esta numa câmara de saturação até recuperar a turgecência. Se após 24 horas isto não acontecia e a planta permanecia murcha, determinava-se o conteúdo de água do solo que correspondia à umidade no ponto de murcha permanente.

Na curva de retenção, determinado pelo método de Richards (1965), a porosidade total corresponde ao volume de água quando a tensão é igual a zero (Fokkens & De Koning, 1964). A porosidade efetiva corresponde à diferença entre o volume de água de quando o solo encontra-se saturado e quando encontra-se à capacidade de campo. A capacidade de campo foi considerada como sendo a umidade que o solo retém quando submetido a uma tensão entre 0,010 e 0,101 MPa (Carrillo, 1977), dependendo do tipo de solo, e o ponto de murcha aquela umidade que o solo retém quando submetido a uma tensão de 1,515 MPa (Glossary... 1965).

As condutividades hidráulica e capilar do solo foram

TABELA 1. Caracterização física dos solos estudados.

Propriedade	Solo		
	Arenoso	Barro-argilo-arenoso	Argilo-arenoso
% Areia ¹	89,63	63,96	47,86
% Silte	4,02	15,25	13,47
% Argila	6,35	20,79	38,67
Densidade global (g/cm ³)	1,49	1,38	1,34
Densidade da partícula (g/cm ³)	2,65	2,60	2,54

¹ Classificação segundo o U.S.D.A. (EMBRAPA, 1979)

determinadas utilizando o modelo de Green & Corey (1971), que se baseia na curva de retenção, através da seguinte relação:

$$K(\theta)_i = \frac{K_{sm}}{K_{sc}} \cdot \frac{\sigma^2}{2 \cdot d \cdot g \cdot \eta} \cdot \frac{\theta^p}{n^2} \cdot \sum_{j=i}^m (2j+1-2i) / h_j^2$$

onde $K(\theta)_i$ é a condutividade hidráulica corresponde ao incremento de umidade i ; K_{sm} , a condutividade hidráulica medida à saturação; K_{sc} , a condutividade hidráulica calculada; g , a aceleração de gravidade; σ , a tensão superficial; d , a densidade; η , a viscosidade da água; θ , o conteúdo da água em volume; p , um parâmetro que leva em consideração a interação e poros no solo; j e i , índice de somatória; m , o número de incrementos de umidade para os quais os cálculos são feitos, e h , a sucção matricial.

Os valores das características físico-hídricas determinados pelos métodos convencionais e inferidos da curva característica de umidade foram comparados estatisticamente. Realizou-se a análise estatística utilizando um modelo inteiramente casualizado, com três repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 1 apresenta as curvas características de umidade dos diferentes tipos de solos utilizados.

A Tabela 2 apresenta os valores da porosidade

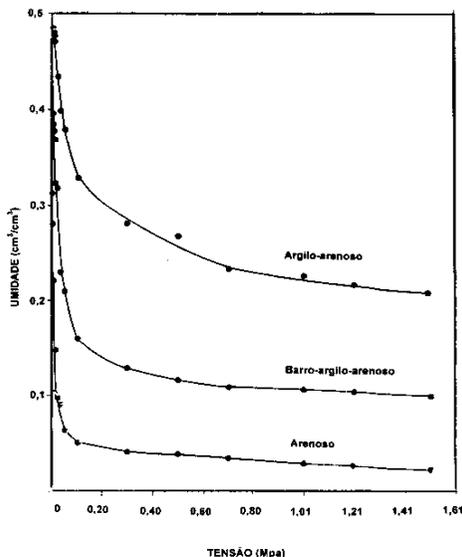


FIG. 1. Curva característica de umidade dos solos estudados.

total para cada um dos solos estudados obtidos pelos métodos do cilindro, empírico e através da curva de retenção de umidade. Realizada a análise estatística, encontrou-se que nos solos arenoso e barro-argilo-arenoso a porosidade total obtida pelo método proposto (curva de retenção) é estatisticamente igual ao obtido pelo método do cilindro, considerado padrão. Os valores de porosidade total determinados empiricamente foram estatisticamente diferentes dos obtidos pelo método proposto. Já no solo argilo-arenoso, a porosidade total foi estatisticamente igual, qualquer que seja o método de determinação utilizado.

Na Tabela 3, apresentam-se os resultados da porosidade efetiva determinada pelo método de Coelho (1984), e da curva de retenção de umidade. Realizada a análise estatística, obteve-se que os valores de porosidade efetiva determinada pelo método de Coelho (1984) foram estatisticamente iguais aos inferidos da curva de retenção de umidade no solo barro-argilo-arenoso e argilo-arenoso. No solo arenoso, encontrou-se diferença significativa entre as médias dos tratamentos somente a 1% de probabilidade. Assim, o método baseado na curva de retenção constitui-se numa boa alternativa para determinar a porosidade efetiva dos solos estudados.

A Tabela 4 apresenta os valores de capacidade de campo, determinados pelo método de campo, considerado padrão, e as umidades do solo quando submetido às tensões de 0,010; 0,020; 0,033; 0,050 e 0,101 MPa. As análises de variância e as comparações de médias mostraram que no solo arenoso as umidades obtidas com as tensões de 0,010; 0,020 e 0,033 MPa (6,8; 6,5 e 6,0%, respectivamente) foram estatisticamente iguais à considerada padrão (6,1%). No barro argilo-arenoso, as umidades obtidas com as pressões de 0,010 e 0,020 MPa (23,2 e 22,9%, respectivamente) foram estatisticamente iguais à obtida no campo (22,2%). Já no solo argilo-arenoso a umidade obtida sob a tensão de 0,020 MPa foi igual à determinada no campo (31,4%). Considerando aspectos de economia de tempo e energia, escolheram-se as tensões de 0,010; 0,010 e 0,020 MPa como as que reproduzem os valores de capacidade de campo para os solos arenoso, barro-argilo-arenoso e argilo-arenoso, respectivamente.

Para comprovar a veracidade dos resultados, de-

terminou-se, a partir das curvas de distribuição de tamanho dos poros (Fig. 2), a porosidade facilmente drenável. Em todos os casos estudados, a porosidade efetiva, determinada pelo método de Coelho, foi igual à determinada através da curva.

TABELA 2. Porosidade total determinada por diferentes métodos nos três solos estudados.

Método	Porosidade total (% em volume)		
	Arenoso	Barro-argilo-arenoso	Argilo-arenoso
Cilindro	40,9 a ¹	42,8 a	48,5 a
Empírico	43,8 b	46,9 b	47,2 a
Curva de retenção	38,0 a	40,0 a	48,4 a

¹ Médias seguidas verticalmente de letras diferentes do valor considerado padrão apresentam diferenças significativas entre si a 1% de probabilidade.

TABELA 3. Porosidade efetiva determinada por diferentes métodos, nos três solos estudados.

Método	Porosidade total (% em volume)		
	Arenoso	Barro-argilo-arenoso	Argilo-arenoso
Coelho	31,7 a ¹	7,4 a	6,5 a
Curva de retenção	27,9 b	7,9 a	5,2 a

¹ Médias seguidas verticalmente de letras diferentes do valor considerado padrão apresentam diferenças significativas entre si a 1% de probabilidade.

TABELA 4. Capacidade de campo dos três solos estudados, determinados por métodos diferentes.

Método	Umidade (% base solo seco)		
	Arenoso	Barro-argilo-arenoso	Argilo-arenoso
De campo	6,1 a ¹	22,2 a	31,4 a
Curva de retenção	0,010 MPa	6,8 a	23,2 a
	0,020 MPa	6,5 a	22,9 a
	0,033 MPa	6,0 a	16,5 b
	0,050 MPa	4,2 b	15,1 b
	0,101 MPa	3,3 b	11,4 b

¹ Médias seguidas verticalmente de letras diferentes do valor considerado padrão apresentam diferenças significativas entre si a 1% de probabilidade.

A curva de distribuição do tamanho dos poros é de grande utilidade, já que desta pode-se inferir o percentual de distribuição de qualquer tamanho de poros do solo, e ao mesmo tempo, permite deduzir informações da água no solo e de parâmetros específicos de drenagem. O fato de a capacidade de campo dever ser estimada em laboratório a potenciais maiores que 0,033 MPa tem sido reportado por Scardua (1972) e Reichardt (1988).

A Tabela 5 apresenta os valores de umidade do solo no ponto de murcha permanente, determinados através do método fisiológico e inferidos da curva de retenção de umidade. Ao analisar e comparar estatisticamente os resultados do ponto de murcha permanente (Tabela 5), obtidos através do método fisiológico, com as umidades obtidas quando o solo foi submetido a diferentes tensões pneumáticas na panela de pressão, encontrou-se que no solo arenoso a tensão que reproduziu mais fielmente o ponto de murcha permanente era a de 0,101 MPa; no barro-argilo-arenoso, 0,033 MPa; e no argilo-arenoso, de 0,707 MPa. Verificou-se que as tensões correspondentes às umidades no ponto de murcha permanen-

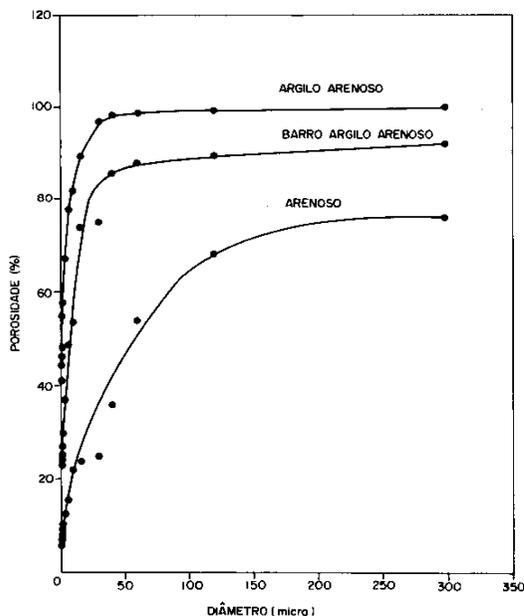


FIG. 2. Distribuição do tamanho dos poros dos solos estudados.

te, determinadas pelo método fisiológico nos três solos estudados, são baixas quando comparadas com as recomendadas pela bibliografia (Dwana & Loomis, 1967; Carrillo, 1977), que indicam que a tensão representativa seria de 1,515 MPa. Não obstante, deve-se lembrar que este valor (1,515 MPa) é uma média, recomendada para qualquer tipo de solo, e portanto inclui os solos de textura fina, que realmente necessitam de altas tensões, inclusive maiores que 1,515 MPa. Considerando que os solos utilizados no trabalho têm um alto conteúdo de areia (inclusive o solo argilo-arenoso, que contém 48%), é justificável ter encontrado tais pressões. Isto pode ser verificado quando se analisam as variações da percentagem de umidade com a tensão para os três solos estudados (Fig. 1). Observa-se que as declividades das curvas diminuem acentuadamente quando os solos arenoso, barro-argilo-arenoso e argilo-arenoso são submetidos às tensões maiores de 0,101; 0,303 e 0,707 MPa, respectivamente. Isto mostra que nessas tensões, praticamente toda a água disponível para as plantas teria sido esgotada e portanto atingido seu ponto de murcha permanente.

A Fig. 3 apresenta a condutividade hidráulica perante a umidade, nos três solos estudados, determinada através do método de Green & Corey (1971). De acordo com o método, os valores da condutividade hidráulica foram corrigidos em relação à condutividade hidráulica determinada no laboratório através de permeâmetros quando o solo

TABELA 5. Determinação do ponto de murcha permanente, nos três solos estudados.

Método	Umidade (% Base solo seco)		
	Arenoso	Barro-argilo-arenoso	Argilo-arenoso
Fisiológico	3,7 a ¹	9,0 a	16,6 a
Curva de retenção	0,101 MPa	3,3 a	11,4 b
	0,303 MPa	2,7 b	9,2 a
	0,505 MPa	2,5 b	8,3 a
	0,707 MPa	2,2 b	7,7 b
	1,010 MPa	1,9 b	7,5 b
	1,515 MPa	1,5 b	7,1 b
			14,8 b

¹ Médias seguidas verticalmente de letras diferentes do valor considerado padrão apresentam diferenças significativas entre si a 1% de probabilidade.

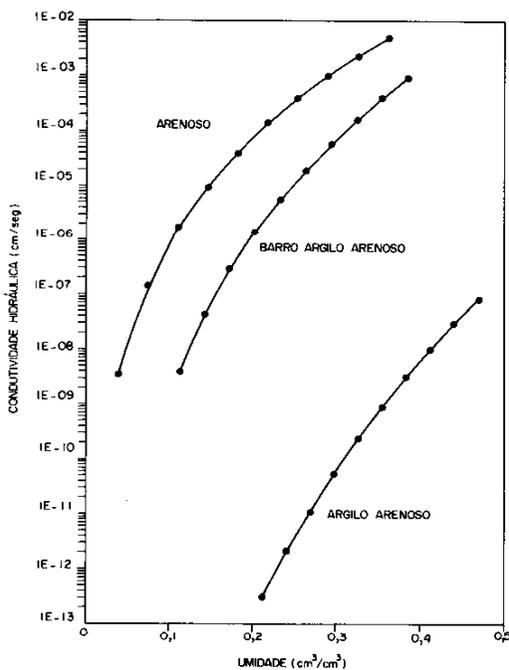


FIG. 3. Condutividade hidráulica em função da umidade dos solos estudados.

estava no seu estado de saturação. Estes valores foram de $4,66 \times 10^{-3}$; $9,18 \times 10^{-4}$ e $8,53 \times 10^{-8}$ cm/seg, nos solos arenoso, barro-argilo-arenoso e argilo-arenoso, respectivamente. Os valores encontrados são equivalentes aos obtidos por Hillel (1973) e Finkel (1982), em solos semelhantes.

Observa-se um aumento da condutividade capilar com o conteúdo de água do solo, fenômeno observado por vários cientistas (Jackson et al., 1965; Cassel, 1971; Bruce, 1972 e Carvalho, 1976). O valor da condutividade capilar aumenta até atingir um valor constante, o qual corresponde à condutividade hidráulica sob condições de solo saturado. Enquanto nos solos saturados a água é conduzida por todos os poros, nos insaturados ela é transportada só através das películas de água que envolvem as partículas de solo; logo, a área condutora vai se tornando menor à medida que o teor de água do solo diminui, e, conseqüentemente, a condutividade capilar também decresce.

Os valores de condutividade capilar obtidos com o método de Green & Corey não foram comparados com valores obtidos no campo, por ser este último um processo muito exaustivo. No entanto, com base em considerações bibliográficas (Jackson et al., 1965; Bruce, 1972) pode-se indicar que o método de Green & Corey constitui um instrumento muito útil quando se deseja uma informação físico-hídrica completa dos solos.

CONCLUSÕES

1. A utilização da curva de retenção de água dos solos constitui-se numa boa alternativa para determinar a porosidade total e efetiva dos solos.

2. O método da curva de retenção mostrou que no que diz respeito ao solo arenoso, barro-argilo-arenoso e argilo-arenoso, as tensões que reproduzem a umidade à capacidade de campo foram de: 0,010; 0,010 e 0,020 MPa, respectivamente.

3. O método da curva de retenção mostrou que no tocante ao solo arenoso, barro-argilo-arenoso e argilo-arenoso, as tensões que reproduzem a umidade no ponto de murcha permanente foram de: 0,101; 0,333 e 0,707 MPa, respectivamente.

Recomenda-se repetir as determinações pelo método fisiológico, para confirmar os baixos valores encontrados com o método da curva de retenção.

4. O conhecimento das relações energia-umidade permite conhecer a distribuição do tamanho dos poros, propriedade muitas vezes mais importante que a simples determinação da porosidade total e efetiva do solo.

5. Embora a condutividade capilar, determinada pelo método de Green & Corey, não foi comparada com o método de campo, os resultados obtidos são bastante coerentes, os quais, permitem recomendar esta metodologia. Recomenda-se um trabalho que determine no campo a condutividade capilar dos solos estudados, para verificar os valores obtidos neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- BLAKE, G.R. Particle density. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; ENSMINGER, L.E.; WHITE, J.L.; CLARK, F.E. **Methods of soil analysis**. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1965. Part. 1, chapter 29, p.371-373, chapter 30, p.374-390. (Agronomy, 9).
- BRUCE, R.R. Hydraulic conductivity evaluation of the soil profile from soil water retention relations. **Soil Science Society of American Proceedings**, v.36, p.555-561, 1972.
- CARRILLO, U.R. Estudio de la tensión - humedad en un suelo Latosólico (Rojo) mediante el equipo Richards. "Método indireto". **Revista Agrotecnia de Cuba**, Havana, v.9, n.2, p.7-16, 1977.
- CARVALLO, H.O.; CASSEL, D.K.; HAMMOND, J.; BAUER, A. Spatial variability of in situ unsaturated hydraulic conductivity of Maddock sandy loam. **Soil Science Society of American Proceedings**, v.40, p.1-8, 1976.
- CASSEL, D.K. Water and solute movement in Svea loam for two water management regimes. **Soil Science Society of American Proceedings**, v.35, p.859-966, 1971.
- COELHO, E.F. Eficiência de algumas equações de drenagem no dimensionamento de drenos abertos e cobertos em condições de campo. Viçosa, MG. **Revista Ceres**, v.32, n.179, p.42-62, 1984.
- DWANA, J.S.; LOOMIS, W.E. Plant and soil factors in permanent wilting percentages and field storage. **Soil Science Society of American Proceedings**, v.31, n.3, p.203-207, 1967.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979.
- FINKEL, J. **Handbook of irrigation technology**. [S.l.:s.n.], 1982. v.1, p.30.
- FOKKENS, B.; DE KONING, J.C. Drainage in the Zuiderzee reclamations. In: CONGRESS ON IRRIGATION AND DRAINAGE, 4., 1964, Madrid. **Proceedings**. Madrid: [s.n.], 1964, part. 1, p.18.
- GLOSSARY of Soil Science Terms. **Soil Science Society of American Proceedings**, v.29, n.3, p.330-351, 1965.
- GREEN, R.E.; COREY, J.C. Calculation of hydraulic conductivity: A further evaluation of some predictive methods. **Soil Science Society of American Proceedings**, v.35, n.1, p.3-8, Jan./Feb. 1971.
- HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and processes**. New York: Academic Press, 1973.
- JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J.; BAVEL, C.H.M. Van. Comparison of measured and calculated hydraulic conductivities of unsaturated soils. **Water Resources Research**, v.1, p.375-380, 1965.
- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia - Relação solo-planta**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1979. p.199-200.
- KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; ENSMINGER, L.E.; WHITE, J.L.; CLARK, F.E. **Methods of soil analysis**. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1965. Part. 1, p.210-221. (Agronomy, 9).
- REICHARDT, K. Capacidade de Campo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, n.12, p.211-216, 1988.
- RICHARDS, L.A. **Physical condition of water in soil**. New York: Academic Press, 1965. Part. 1, p. 128-152. (Agronomy Monograph, 9).
- SCARDUA, R. **Porosidade livre de água de dois solos do município de Piracicaba, SP**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1972. 83p. Tese de Mestrado.