

DESENVOLVIMENTO MATEMÁTICO DE UMA EQUAÇÃO PARA ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE CAMPO¹

Luiz Fernando Coutinho de Oliveira², Robson Bonomo³ e
Fernando Cardoso Cortês²

ABSTRACT

MATHEMATICAL DEVELOPMENT OF AN EQUATION FOR THE ESTIMATE OF FIELD CAPACITY

This work had as objective the mathematical development of an equation for the estimate of the field capacity with base in the process of drainage of water in the profile of the soil after the saturation. For the verification of the proposed mathematical development, an experiment of constituted field of a board of 25 m² was set up in a latossolo vermelho-escuro. After the saturation of the profile of the soil, it was made the accompaniment of internal drainage in the layers of 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm and 90-120 cm. The proposed mathematical development was shown appropriate in the estimate of the moisture in the field capacity, allowing like this its use in models of simulation of the movement of water in the soil, since the potential equation that describes the process of drainage of water in the profile presents a good adjustment to the experimental data.

KEY WORDS: Field capacity, irrigation, moisture

RESUMO

Desenvolveu-se neste trabalho um equacionamento para a estimativa da capacidade de campo com base no processo de redistribuição de água no perfil do solo após a saturação. Para a verificação do equacionamento proposto, montou-se um experimento de campo constituído de um tabuleiro de 25 m² em um latossolo vermelho-escuro. Após a saturação do perfil do solo, foi feito o acompanhamento da redistribuição de umidade nas camadas de 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm e 90-120 cm. O equacionamento proposto mostrou-se adequado na estimativa da umidade volumétrica na capacidade de campo, permitindo assim sua utilização em modelos de simulação do movimento de água no solo, desde que a equação potencial que descreve o processo de redistribuição apresente um bom ajuste aos dados experimentais.

PALAVRAS-CHAVE: Capacidade de campo, irrigação, perfil de umidade

INTRODUÇÃO

A descrição da dinâmica da água no perfil de um solo é de fundamental importância para a solução de problemas envolvendo irrigação, drenagem, armazenamento e transporte de água e de nutrientes, bem como o controle da infiltração e escoamento superficial. Na maioria dos processos envolvendo o movimento de água ocorrem condições de não-saturação, em que as propriedades físico-hídricas do solo são variáveis com a umidade, decrescendo rapidamente com a redução da umidade no solo (Sasso *et al.* 2000, Oliveira & Pinto 1997).

Segundo Reichardt (1988) e Jury *et al.* (1991), o fluxo de água para baixo no perfil do solo após saturação não cessa, podendo ocorrer por longos períodos de tempo. Este processo é denominado redistribuição de água no solo. Inicialmente, a região do perfil com alto conteúdo de água drena rapidamente para as camadas inferiores, mais secas. A perda de água, por sua vez, faz com que as forças responsáveis por reter a água no solo se manifestem cada vez com maior intensidade, de forma a que o perfil tende a uma uniformidade de umidade. A redução da umidade depois de certo tempo torna o movimento de água no solo lento. No instante em que o solo

1 - Entregue para publicação em junho de 2001.

2 - Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. CP 131 - CEP 74001-970. - Goiânia - Goiás.

3 - Universidade Federal de Goiás. Campus de Jataí - Goiás.

armazena a máxima quantidade de água disponível para as plantas, diz-se que o solo se encontra na capacidade de campo. No entanto, Reichardt (1993) salienta que o movimento descendente nunca cessa, pois o potencial gravitacional está sempre presente, o que mostra que a definição da capacidade de campo se refere a um comportamento dinâmico da água no perfil de solo.

Existem muitas controvérsias quanto à caracterização da capacidade de campo. Embora a capacidade de campo apresente um caráter dinâmico, tem-se adotado nas práticas de manejo de irrigação com tensiômetro um conceito estático, ou seja, definindo seu valor por um ponto da curva de retenção de umidade. Segundo Reichardt (1987), a capacidade de campo na maioria dos solos se encontra entre os potenciais matriciais de -10 kPa e -33 kPa. Esta faixa é variável com a textura e estrutura do solo. Oliveira & Pinto (1996), trabalhando com 25 amostras de solo retiradas na profundidade média de 30 cm, correspondente ao horizonte B de um latossolo vermelho-amarelo, variação Una, encontrado na região de Viçosa (MG), obtiveram um valor médio para a umidade volumétrica na capacidade de campo de $32 \text{ m}^3 \text{ dm}^{-3}$, sendo necessárias 15 e 4 amostras de solo para sua caracterização para os valores de 5% e 10% de variação em torno da média, respectivamente. Os mesmos autores em 1997, analisando o processo de redistribuição de água em colunas preenchidas com o mesmo solo, obtiveram um valor médio para a umidade volumétrica na capacidade de campo de $36 \text{ m}^3 \text{ dm}^{-3}$, que correspondeu ao potencial

matricial de -16 kPa. Para solos de cerrado, tem-se empregado, para a obtenção da capacidade de campo, a umidade retida na tensão de -6 kPa (Nascimento 1998).

A partir de equações que descrevem a redução da umidade com o tempo, objetivou-se com este trabalho desenvolver uma metodologia que permita a estimativa da umidade volumétrica na capacidade de campo, a partir de informações obtidas no campo durante o processo de redistribuição da água no perfil do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

No desenvolvimento da equação para estimativa da capacidade de campo, empregou-se a equação do tipo potencial para descrever o decréscimo de umidade com o tempo durante o processo de redistribuição (Oliveira & Pinto 1997), dada pela equação 1.

$$\theta = C t^{-n} \quad [1]$$

onde,

θ = umidade volumétrica, $\text{L}^3 \text{L}^{-3}$;

t = tempo, T;

C e n = coeficientes ajustados.

Em análise gráfica do comportamento descrito pela equação [1], a umidade na capacidade de campo é aquela em que a curva de $\theta \times t$ torna-se assintótica ao eixo dos tempos (Figura 1).

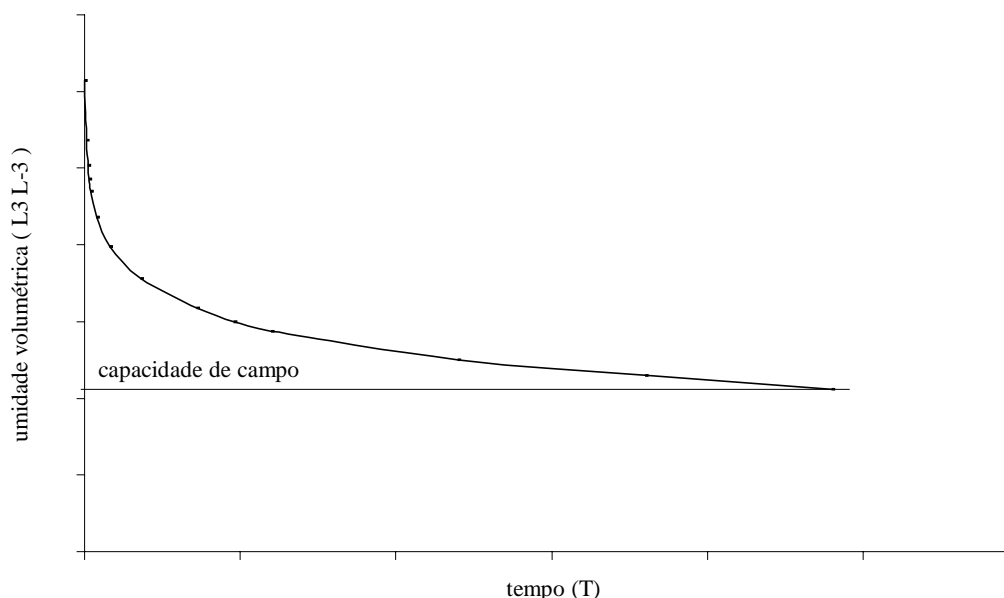


Figura 1. Decréscimo da umidade volumétrica com o tempo durante o processo de redistribuição da água no perfil do solo. Goiânia, GO. 2000.

A equação [1] apresenta algumas limitações quanto ao seu emprego em modelos que descrevem o processo de redistribuição de água no solo. Para o tempo inicial do processo de redistribuição, o solo se encontra com a umidade igual à da saturação e, pelo emprego da equação, o valor de umidade tende para o infinito quando o tempo tende para zero, ou seja:

$$\lim_{t \rightarrow 0} C t^{-n} \therefore \theta \rightarrow \infty \quad [2]$$

Para o tempo após a saturação muito grande, o solo se encontra na capacidade de campo e pelo emprego da equação [1], o valor de umidade tende para zero quando o tempo tende para o infinito.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} C t^{-n} \therefore \theta \rightarrow 0 \quad [3]$$

Para contornar essas limitações, pode-se escrever que :

$$\text{– para } t = 0, \quad \theta = \theta_s \quad [4]$$

$$\text{– para } 0 < t \leq T_{cc}, \quad \theta = C t^{-n} \quad [5]$$

$$\text{– para } t > T_{cc}, \quad \theta = \theta_{cc} \quad [6]$$

onde:

θ_s = umidade volumétrica do solo saturado, $L^3 L^{-3}$;
 T_{cc} = tempo para se atingir a capacidade de campo, T;
 θ_{cc} = umidade volumétrica do solo na capacidade de campo, $L^3 L^{-3}$.

A derivada de primeira da equação [1] indica a inclinação da curva de θ x t em qualquer instante de tempo. Para a umidade na capacidade de campo, esta derivada é nula e o tempo para a obtenção da θ_{cc} tenderá para o infinito, perdendo assim o significado físico. Para a solução numérica de modelos que descrevem o processo de redistribuição de água no solo, a derivada de primeira da equação [1] para a condição em que $t \rightarrow \infty$, deve-se assumir um valor mínimo diferente de zero para que se obtenha a convergência, ou seja:

$$\frac{d\theta}{dt} = - C n t^{-n-1} = K \quad [7]$$

onde:

K = valor mínimo da tangente da curva da umidade volumétrica com o tempo.

Explicitando na equação [7] em função do tempo, tem-se o tempo para se atingir a capacidade de campo.

$$T_{cc} = \left(\frac{K}{Cn} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad [8]$$

Substituindo a equação [8] na [1], obtém-se uma equação que permite estimar o valor da umidade volumétrica na capacidade de campo.

$$\theta_{cc} = C \left[\frac{K}{Cn} \right]^{\frac{1}{n-1} \cdot n} \quad [9]$$

Para validar a equação proposta, montou-se um experimento de campo em uma área pertencente à Universidade Federal de Lavras, cujo solo foi classificado como latossolo vermelho-escuro. Para tal, foi individualizado, por dique de terra, um tabuleiro de 5,0 por 5,0 metros, sendo a área de teste de 2,0 por 2,0 metros construída no centro do tabuleiro. Durante um período de três dias aplicou-se água nos tabuleiros para promover a saturação do perfil do solo. Após a saturação do solo, cobriu-se sua superfície com maravalha e lona plástica, com a finalidade de interromper o fluxo ascendente e evitar a evaporação, garantindo assim a existência apenas da drenagem interna das camadas.

O processo de redistribuição da água no solo foi acompanhado pela variação da umidade do solo ao longo do tempo, nas camadas de 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm e 90-120 cm. Para tal foram retiradas três amostras de solo por camada com auxílio de trado de Veihmeyer, o que permitiu a obtenção do perfil de umidade para diferentes tempos. As primeiras amostragens foram realizadas imediatamente após o total desaparecimento da lâmina de água formada sobre a superfície do solo, sendo as demais realizadas em diferentes intervalos de tempo após as primeiras leituras. Os intervalos das amostragens nos primeiros quatro dias foram de 30 minutos, 1, 6 e 12 horas, devido à rápida redistribuição de água nas camadas de solo, e para os dias seguintes foi realizada apenas uma amostragem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta as curvas experimentais de umidade volumétrica com o tempo para as camadas de 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm e 90-120 cm do latossolo vermelho-escuro, o que permite visualizar o decréscimo de θ com o t da forma potencial, conforme descrito pela equação [1].

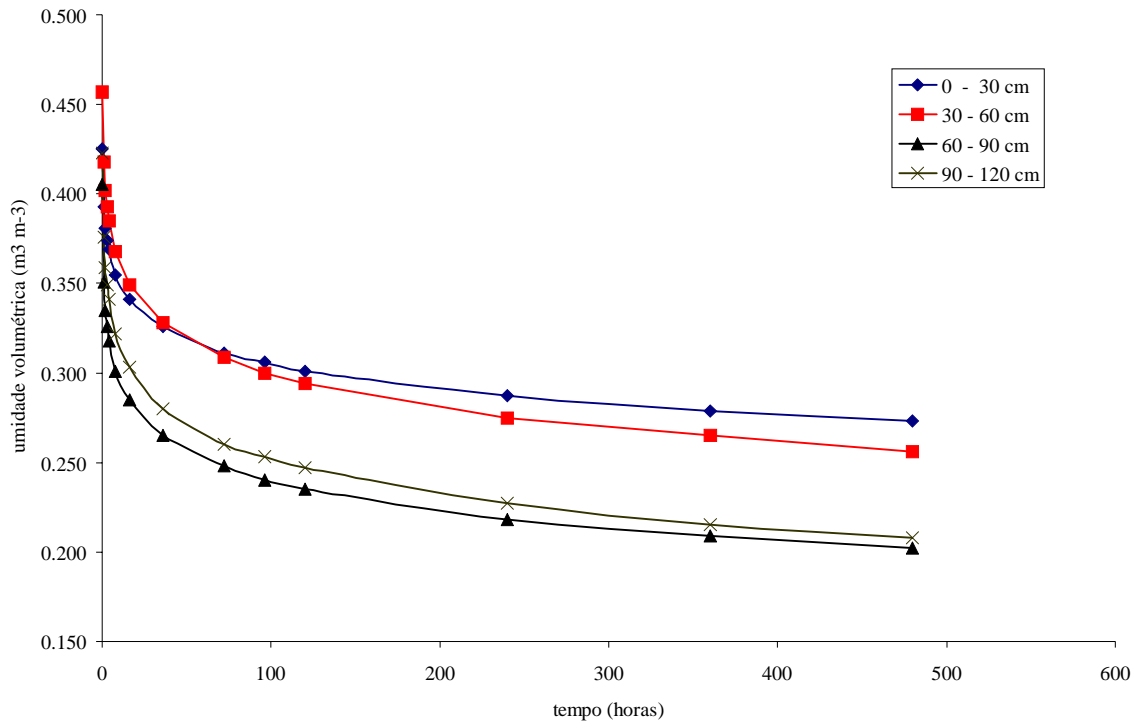


Figura 2. Variação da umidade volumétrica com o tempo para diferentes camadas do latossolo vermelho-escuro, Goiânia, GO. 2000.

Para o ajuste dos coeficientes da equação [1] para as diferentes camadas do solo, procedeu-se à anamorfose dessa equação para transformá-la em uma equação de reta (equação 10), o que permitiu a estimativa dos coeficientes C e n pelo método dos mínimos quadrados.

$$\log \theta = C - n \log T \quad [10]$$

A Tabela 1 apresenta as equações ajustadas com os respectivos coeficientes de determinação (r^2). Para todas as camadas do solo latossolo vermelho-escuro, a equação do tipo potencial apresentou um bom ajuste para descrever o processo da redistribuição de água no solo, com valores de r^2 maiores que 99 %.

Tabela 1. Equações potenciais ajustadas por regressão linear para as diferentes camadas do latossolo vermelho-escuro. Goiânia, GO. 2000.

Camada do solo	Equação ajustada	r^2
0 a 30 cm	$q = 0,3991 t^{-0,0595}$	0,9957
30 a 60 cm	$q = 0,4287 t^{-0,0798}$	0,9927
60 a 90 cm	$q = 0,3595 t^{-0,0900}$	0,9947
90 a 120 cm	$q = 0,3881 t^{-0,0967}$	0,9922

Para a estimativa do valor da umidade volumétrica na capacidade de campo, empregando-se o equacionamento proposto neste trabalho, utilizaram-se valores de K variando entre $-0,01$ a $-0,00001$. A Tabela 2 apresenta os valores θ_{cc} e T_{cc} , para os diferentes valores de K para cada camada do solo empregado neste estudo. Comparando-se os valores de umidade volumétrica na capacidade de campo apresentados na Tabela 2 com os obtidos experimentalmente, o valor da tangente K da curva de umidade volumétrica com o tempo que permitiu a melhor estimativa da θ_{cc} foi igual a $-0,0001$, para todas as camadas do solo empregado neste estudo.

O emprego da equação proposta neste trabalho para a estimativa da umidade volumétrica na capacidade de campo em modelos de simulação do movimento de água no solo durante o processo de redistribuição mostrou-se adequado, sendo necessários um bom ajuste dos coeficientes da equação [1] a partir dos dados experimentais e a verificação do valor da tangente K da curva de $\theta \times t$, que permita a melhor estimativa da θ_{cc} para cada tipo de solo.

Tabela 2. Umidade volumétrica na capacidade de campo estimada, para as diferentes camadas do latossolo vermelho-escuro. Goiânia, GO. 2000.

Camada do solo	K ¹	θ_{cc} ² (m ³ m ⁻³)		T _{cc} ³ (horas)
		calculado	observado	
0 a 30 cm	-0,01000	0,3779	0,2730	2,51
	-0,00100	0,3266		29,02
	-0,00010	0,2824		335,65
	-0,00001	0,2441		3.882,87
30 a 60 cm	-0,01000	0,3848	0,2560	3,81
	-0,00100	0,3151		29,02
	-0,00010	0,2581		567,44
	-0,00001	0,2114		3.882,87
60 a 90 cm	-0,01000	0,3201	0,2020	3,63
	-0,00100	0,2549		46,47
	-0,00010	0,2030		573,03
	-0,00001	0,1616		7.195,79
90 a 120 cm	-0,01000	0,3369	0,2080	4,32
	-0,00100	0,2633		55,32
	-0,00010	0,2058		707,88
	-0,00001	0,1608		9.057,60

1. Tangente da curva da umidade volumétrica com o tempo

2. Umidade volumétrica na capacidade de campo

3. Tempo para se atingir a capacidade de campo

CONCLUSÕES

O equacionamento proposto neste trabalho mostrou-se adequado na estimativa da umidade volumétrica na capacidade de campo, permitindo assim sua utilização em modelos de simulação do movimento de água no solo, desde que a equação potencial que descreve o processo de redistribuição apresente um bom ajuste aos dados experimentais.

REFERÊNCIAS

- Jury, W. A., W. R. Gardner & W. H. Gardner. 1991. Soil physics. John Wiley & Sons. 326p.
- Nascimento, J. L. 1998. Respostas de duas cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) a cinco lâminas de irrigação aplicadas durante o estágio de desenvolvimento vegetativo nos sistemas de plantio convencional e direto. Tese de Doutorado. Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. 138 p.
- Oliveira, L. F. C. & J. P. Pinto. 1996. Determinação do número de amostras para a obtenção dos parâmetros físicos de um latossolo vermelho-amarelo. In Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 25. Unesp/SBEA. Bauru, SP. CD Room. Anais.
- Oliveira, L. F. C. & J. P. Pinto. 1997. Determinação da condutividade hidráulica em função da umidade pelo método do perfil instantâneo em colunas de solo. Engenharia na Agricultura, 5 (2) : 162-70.
- Reichardt, K. 1988. Capacidade de campo. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 12 : 211-16.
- Reichardt, K. 1993. Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas. Departamento de Física e Meteorologia. Esalq/USP, Piracicaba, SP. 505 p.
- Sasso, M. A. I., A. C. A. Gonçalves, R. Rezende & A. Bertonha. 2000. Capacidade de campo e retenção de água no solo terra roxa estruturada. In Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 29. UFC/SBEA. Fortaleza, CE. CD Room. Anais.