

UTILIZAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO NA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE CULTURA (Kc), DA CENOURA (*DAUCUS CAROTA*, L)*

THOMAZ CORREA ARAGÃO JUNIOR **
PAULO TEODORO DE CASTRO ***

O déficit hídrico decorrente da ausência de precipitação pluviométrica pode significar perdas elevadas às atividades agrícolas. A necessidade de suplementação total ou parcial de água às culturas é quase que primordial em nossa região, constantemente ameaçada pelas adversidades climáticas, no que se refere à água de chuva. Essa suplementação de água, ou seja, a adoção da prática de irrigação, começa a se difundir em nosso meio embora com certas deficiências de informações precisas no que diz respeito a um aproveitamento adequado dos recursos hídricos disponíveis.

A cultura da cenoura (*Daucus carota*, L), é a principal hortaliça de expressão econômica cultivada na microrregião da Serra de Baturité, sendo também explorada na microrregião da Ibiapaba. A prática de irrigação da cultura nessas microrregiões é feita sem o conhecimento de importantes informações, como sejam, a evapotranspiração e o coeficiente de cultura.

O sucesso da aplicação técnica da irrigação depende, entre outros requisitos, do conhecimento da demanda hídrica do cultivo. Para isso existe uma extensa metodologia que pode ser utilizada na determinação direta da evapotranspiração real das culturas ou na sua estimativa através da evapotranspiração potencial. No entanto, torna-se necessário o uso de coeficientes adequados, denominados coeficiente de cultura (Kc), que podem ser determinados em função da evapotranspiração real e da evapotranspiração potencial, cujas estimativas permitem avaliar quantidades de água a serem dotadas aos cultivos.

O método do balanço hídrico em um volume de controle de solo considerado, tem sido apresentado por diversos autores (Rose & Stern, 1966; Rose, 1966; Holmes *et alii*, 1967; Slatyer, 1967; Barrada, 1971; Reichardt, 1975). Os componentes deste método (precipitação, irrigação, deflúvio superficial, percolação profunda, variação de armazenamento da água do solo e evapotranspiração) são agrupados em uma equação geral de balanço de massa.

O trabalho desenvolvido apresenta como objetivo principal a determinação do coeficiente de cultura da cenoura, pelo método do balanço hídrico e por-

* Parte do trabalho de Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências Agrárias da UFC, para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

** Engenheiro Agrônomo da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Ceará – EPACE.

*** Professor Assistente do Centro de Ciências Agrárias da UFC e pesquisador do CNPq.

tanto a estimativa da evapotranspiração real, e ainda como consequência a água necessária ao processo fisiológico e dinâmico. Os resultados, equacionados com os dados de evapotranspiração potencial, corrigida pela evaporação do tanque "Classe A", possibilita determinar o coeficiente de cultura, durante o período considerado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em área experimental da EPACE – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Ceará – localizada no município de Guaramiranga-Ce, durante o ano agrícola de 1981. As coordenadas geográficas locais são: latitude 4° 17'S, longitude 39° 00'W e altitude de 872 m. Segundo dados da estação Agrometeorológica da EPACE, a caracterização climática da região apresenta uma precipitação média anual de 1.691 mm, uma temperatura média anual de 20,6°C e umidade relativa do ar, média anual, de 88%.

O solo enquadra-se no grande grupo Podzólico-Vermelho-Amarelo A moderado, fase floresta subperenifólia, com geologia e litologia pre-cambriano e granito.

Foi utilizada a cultura da cenoura variedade meio comprida de Nantes, ciclo médio de 100 dias, com 95% do seu sistema radicular situado à profundidade de 18 cm. A semeadura foi realizada manualmente em 31/08/81, com espaçamento de 20 cm entre linhas e após o 2.º e último desbaste, foram espaçadas de 5 cm entre plantas.

Antes do plantio houve desmatamento, limpeza, aração e gradagem e foi aplicado o nematicida Furadan-50,PM, na dosagem 5 g/m², visando o controle de nematóides, comuns nas áreas onde se cultiva a cenoura.

Princípios do método do balanço hídrico

O balanço hídrico num volume de controle de solo de profundidade Z, de 0 a L, durante um intervalo de tempo t₂ - t₁, é descrito mediante uma equação regida pela lei da conservação das massas.

Esta equação mostra que a soma algébrica dos fluxos durante um intervalo de tempo, é igual à variação da quantidade de água armazenada no mesmo intervalo em um elemento de volume considerado, podendo se apresentar na seguinte forma:

$$P + I - ETr \pm Q_L \pm R = \pm \Delta A \dots \dots (1)$$

onde, P = intensidade de precipitação; I = intensidade de irrigação; ETr = intensidade de evapotranspiração real; Q_L = fluxo de água no limite inferior Z = L e R = intensidade de deflúvio ou escoamento superficial. A variação do conteúdo volumétrico de água no solo ou variação de armazenagem de água do solo é representada por ΔA.

A variação de armazenagem de água do solo, foi determinada a partir de perfis consecutivos de umidade do solo θ (cm³.cm⁻³), obtidos indiretamente mediante leituras tensiométricas. O armazenamento A, de água do solo, até a profundidade L, foi calculado pela fórmula:

$$A = \int_0^L \theta dz \simeq \bar{\theta} \cdot L \dots \dots \dots (2)$$

onde, $\bar{\theta}$ = umidade média do perfil do solo (0 a L, cm) e L = profundidade do perfil do solo (cm). Para determinação do perfil de umidade do solo, foram utilizados dois tensiômetros que se encontravam instalados em cada parcela experimental, perfazendo um total de dez, sendo cinco à profundidade de 15 cm e cinco à profundidade de 30 cm. Estes instrumentos tinham seus manômetros ligados a uma cuba de mercúrio individual a cada um dos tensiômetros, distantes 25 cm da superfície do solo. O potencial matricial (ψ_m), foi calculado pela fórmula:

$$\psi_m = -12,6 hz + hc + z \dots \dots \dots (3)$$

onde, hz = leitura (cm de hg) do tensiômetro instalado na profundidade z; hc = altura do nível de mercúrio na cuba em relação à superfície do solo e z = profundidade de instalação do tensiômetro (cm).

Pelo método gravimétrico, utilizando amostras indeformadas de uma trincheira próximo a área experimental, elaborou-se curvas de retenção de água do solo (uma para cada profundidade de instalação do tensiômetro), de maneira que para cada potencial matricial, correspondia um valor de umidade volumétrica.

O cálculo da drenagem profunda (Q_L), no limite inferior considerado para o balanço hídrico ($Z = 22,5$ cm), foi realizado mediante a equação de Darcy, utilizando-se o somatório dos fluxos diários, através da fórmula:

$$Q_L = -K_L (\theta) \cdot (\partial\psi/\partial z)_L \dots\dots\dots(4)$$

onde, $-K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo na profundidade L ; $(\partial\psi/\partial z)_L$ = gradiente de potencial total da água do solo, na profundidade $z = L$. Os valores de condutividade hidráulica em $z = 22,5$ cm ($K_{22,5}$) em mm/dia, para os vários valores de umidade θ , nesta profundidade, foram obtidos através da expressão:

$$K_{22,5} = 10 \exp. 27,2 (3,3447 \bar{\theta} - 1) \dots\dots\dots(5)$$

elaborada por Aragão Junior *et alii* (1981).

A precipitação pluvial não foi considerada por não ter ocorrido no período em que se conduziu o ensaio, mas se ocorresse seria detectada na Estação Agrometeorológica da EPACE, no município de Guaramiranga e bem próximo ao local experimental.

A irrigação da área de estudo foi realizada manualmente, pelo emprego de regadores, conforme é feito tradicionalmente pelos horticultores da região. Foi controlada através de tensiômetros instalados a 15 cm, que ao indicarem um "stress" de 0,2 atm. de potencial matricial, era então processada a irrigação.

O deflúvio ou escoamento superficial, foi negligenciado, tendo em vista que as irrigações não terem ascendido a valores elevados que viessem favorecer esse parâmetro e também por ter a área uma pequena declividade, o que tornou o componente com valores praticamente nulos.

A estimativa da evapotranspiração real (ETr) da cultura da cenoura, foi calculada por diferença e através da equação (1), já que era a única incógnita da referida equação.

Princípios do coeficiente de cultura (Kc)

De acordo com Doorenbos & Pruitt (1977), o coeficiente de cultura (k_c), pode ser obtido através da seguinte equação:

$$Kc = ETr/ETp \dots\dots\dots(6)$$

onde, ETr = evapotranspiração real e ETp = evapotranspiração potencial. Ainda segundo os mesmos autores, esta última pode ser determinada conforme expressão:

$$ETp = Kp \cdot ECA \dots\dots\dots(7)$$

onde, Kp = coeficiente de tanque, que pode ser obtido segundo recomendações de Doorenbos & Pruitt (1977) e ECA = evaporação do tanque "Classe A", instalado sobre uma área circundada por grama, no Posto Agrometeorológico da EPACE, em Guaramiranga-Ce.

Ainda segundo Doorenbos & Pruitt (1977), dividiu-se o ciclo da cenoura de cem (100) dias, em quatro (4) estágios distintos, sendo: inicial, de desenvolvimento, médio e final. O estágio inicial não foi considerado no estudo, pois o "stand" se encontrava em formação. Como para cada estágio há um Kc diferente e ainda existe uma variação de Kc dentro de cada estágio, procurou-se determinar um Kc médio para cada estágio de desenvolvimento. Esse procedimento é obtido relacionando-se as curvas dos valores acumulados de ETr e ETp, obtidos por análise de regressão linear com o tempo, pela equação:

$$Kc = a_1 + b_1 t/a_2 + b_2 t \dots\dots\dots(8)$$

onde, a_1 = coeficiente linear da reta ETr x t (acumulados); a_2 = coeficiente linear da reta ETp x t (acumulados); b_1 = coeficiente angular da reta ETr x t (acumulados); b_2 = coeficiente angular da reta ETp x t (acumulados) e t = tempo em dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Balanço hídrico

Encontram-se na Tabela I, todos os componentes do balanço hídrico para os 13 períodos de 6 dias de intervalos e um período de 2 dias, sendo este último na etapa final do ciclo, próximo do ponto de colheita. São observados os valores de evapotranspiração real, determinados em função do balanço hídrico, os de evapotranspiração potencial, estimados em função da evaporação corrigida do tanque "Classe A", percentuais de drenagem profunda, bem como irrigação e variação de armazenagem em todos os intervalos considerados para o balanço. Vê-se claramente que a drenagem profunda representou uma perda em torno de 14,4% das perdas totais, alcançando 40,29% no último período considerado. Se estes percentuais forem desprezados, ocultará os dados de evapotranspiração real do período. Esta ocorrência reforça a importância da drenagem profunda dada por Black *et alii* (1970) e Vachaud *et alii* (1973) em estudos de balanço hídrico.

A variação dos componentes do balanço hídrico em um volume de controle

de solo e evapotranspiração potencial estimada em função do tanque "Classe A", para os intervalos considerados, para a cultura da cenoura, são mostrados na figura 1.

Coeficiente de cultura (Kc)

Devido a constante freqüência de irrigação, a ausência de chuvas durante o período experimental e à boa precisão da metodologia adotada para determinação da ETr, com intervalos de 6 dias, pode-se estimar com exatidão, o Kc em cada estágio de desenvolvimento da cultura.

Os valores acumulados de ETr e ETp utilizados na obtenção das retas de regressão linear, para o 2.º, 3.º e 4.º estágios de desenvolvimento, suas respectivas equações de regressão linear, coeficiente de cultura, obtidos em função da equação 8, são apresentados nas tabelas 2, 3 e 4.

Os coeficientes de cultura (Kc) médios, obtidos através da equação 8, para o 2.º, 3.º e 4.º estágios, foram 0,77, 0,99 e 0,86, respectivamente. Segundo Doorenbos & Pruitt (1977), o Kc para o 3.º e 4.º estágios, em velocidades de vento de 0 a 5 m/s e umidade relativa mínima acima de 70% são de 1,00 e

TABELA

Valores dos componentes do balanço hídrico, evapotranspiração potencial estimada em função da evaporação corrigida do tanque "Classe A" e % de perdas de água por drenagem profunda para os intervalos considerados.

Período	Intervalo	A mm	ΔA mm	I mm	Q_L mm	ET _r mm	ET _p mm	Q_L (%)
1	19/09	45,20	+2,07					9,88
2	25/09	47,27	+2,88					8,59
3	01/10	50,15	+5,39					10,28
4	07/10	55,54	- 1,06					24,05
5	13/10	54,48	- 3,98					18,75
6	19/10	50,50	+2,96					15,90
7	25/10	53,46	- 1,18					4,17
8	31/10	52,28	- 5,45					3,24
9	06/11	46,83	+6,44					3,14
10	12/11	53,27	+1,65					16,75
11	18/11	54,92	+3,76					19,09
12	24/11	58,68	+2,07					16,00
13	30/11	60,75	+2,63					12,07
14	06/12	63,38	+3,56					40,29
	08/12	66,94						

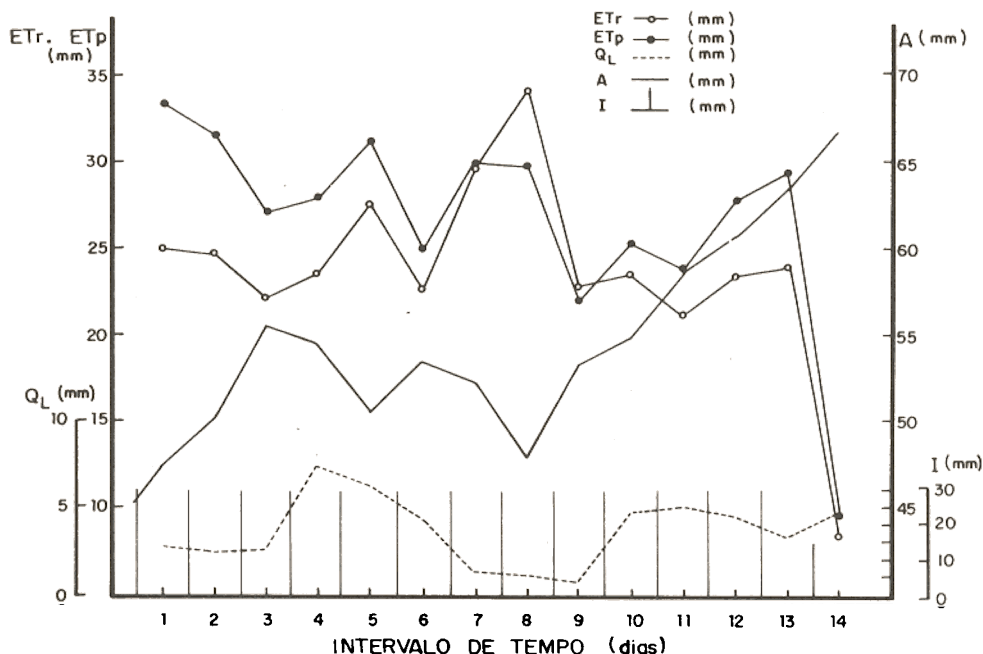


Figura 1 — Variação dos componentes do balanço hídrico e evapotranspiração potencial estimada em função da evaporação corrigida do tanque "Classe A" para os intervalos do balanço na cultura da cenoura.

TABELA II

Valores de ET_r (mm) e ET_p (mm) acumulados, com o tempo (t) acumulado, utilizados na análise de regressão linear e valores de K_c obtidos pela equação 8, para o 2.º estágio.

t (dias após o início do estágio)	ET_r (mm)	ET_p (mm)	K_c
6	25,17	33,57	0,72
12	49,96	65,36	0,77
18	72,04	92,62	0,79
24	95,63	120,71	0,80
30	123,24	152,09	0,80

$$ET_r = 0,6650 + 4,0302 t$$

$$r = 0,9993$$

$$ET_p = 5,1530 + 4,8732 t$$

$$r = 0,9996$$

0,70 respectivamente. Experimentalmente com velocidade de vento de 2 a 5 m/s e umidade relativa do ar, média anual de 88%, conseguiu-se valores bem aproximados.

de cultura médio recomendado por Hargreaves (1976), para todo ciclo da cultura, que é de 0,85, quando se faz programação de irrigação em hortaliças.

Determinou-se ainda um coeficiente de cultura, média dos períodos, e obteve-se um valor de 0,87, portanto, um valor muito bem aproximado do coeficiente

A partir dos valores acumulados de evapotranspiração real (ET_r) e do tempo, obteve-se por análise de regressão linear, a equação que descreve a evapotranspiração real acumulada da cultura da cenou-

TABELA III

Valores de ET_r (mm) e ET_p (mm) acumulados, com o tempo (t) acumulado, utilizados na análise de regressão linear e valores de Kc obtidos pela equação 8, para o 3.º estágio.

(dias após o início do estágio)	ET_r (mm)	ET_p (mm)	Kc
6	22,74	25,02	0,92
12	52,62	55,02	0,98
18	86,92	84,90	1,00
24	109,74	107,05	1,01
30	133,34	132,54	1,02

$$ET_r = 4,6387 t - 2,4240$$

$$r = 0,9965$$

$$ET_p = 0,7850 + 4,4512 t$$

$$r = 0,9982$$

TABELA IV

Valores de ET_r (mm) e ET_p (mm) acumulados, com o tempo (t) acumulado, utilizados na análise de regressão linear e valores de Kc obtidos pela equação 8, para o 4.º estágio.

(dias após o início do estágio)	ET_r (mm)	ET_p (mm)	Kc
6	21,23	23,86	0,90
12	44,96	51,79	0,85
18	68,72	81,42	0,84
20	75,55	90,65	0,84

$$ET_r = 3,9080 t - 2,1645$$

$$r = 0,9999$$

$$ET_p = 4,7927 t - 5,1673$$

$$r = 0,9999$$

ra entre os períodos 1 a 14, do balanço hídrico. A equação é a seguinte:

$$ET_r = 4,2291 t - 1,6659, \quad r = 0,9992$$

O elevado valor do coeficiente de correlação resultante mostra a possibilidade de se obter ET_r a partir de ET_p , quando os períodos considerados para o balanço forem iguais ou superiores a 6 dias e em condições experimentais bem aproximadas do presente trabalho.

CONCLUSÕES

A análise e interpretação dos resultados discutidos, conduziram às seguintes conclusões:

a) quando se aplica a lei da conservação das massas em estudo de balanço hídrico em um volume de controle de solo, em condições de campo, deve-se levar em consideração todos os componentes integrantes do processo, para que não se cometam erros nos cálculos de evapotranspiração real;

b) a equação $ET_r = 4,2291 t - 1,6659$, descreve a evapotranspiração real acumulada da cenoura, podendo ser utilizado na estimativa desse componente quando se considera períodos iguais ou maiores que 6 dias e nas condições experimentais semelhantes as do estudo;

c) o fluxo de evapotranspiração real médio da cultura da cenoura para os

períodos estudados foi de 4,11 mm/dia;

d) os coeficientes de cultura para o 2.^o, 3.^o e 4.^o estágios de desenvolvimento da cenoura, foram respectivamente 0,77, 0,99 e 0,86;

e) o coeficiente de cultura médio de todo o ciclo foi de 0,87 bem próximo do recomendado por Hargreaves (1976), podendo, portanto, ser empregado para a estimativa da evapotranspiração da cultura da cenoura, a partir da evaporação do tanque "Classe A".

SUMMARY

By using the mass conservation law in a control volume of soil, the major factors involved in the estimation of the crop evapotranspiration in carrot (*Daucus carota*, L) were analysed. The values of crop evapotranspiration obtained by this procedure were correlated with data obtained from a Classe A pan, with the objective of determining coefficients that could make the estimation of the crop evapotranspiration using the evaporation pan only. These coefficients, called crop coefficients (Kc), were obtained during the stages of crop development, mid-season and late season and the resulting mean values were 0,77; 0,99 and 0,86, respectively. It was also determined a mean crop coefficient (Kc)

for the can be taken as a basic value for irrigation purposes of the carrot crop.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAGÃO JUNIOR, T. C. et alii. *Determinação da Condutividade hidráulica em um podzólico-vermelho-amarelo em condições de campo*. Fortaleza, 1981, 6 p. (Mimeografado).
- BARRADA, Y. Water balance studies. In: *Water Use Seminar*. Roma, FAO, 1971. p. 90-6 (Irrigation and Drainage Paper, 13).
- BLACK, T. A. et alii. Water storage and drainage under a row crop on a sand soil. *Agronomy Journal*, 62: 48-51, 1970.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. *Crop water requirements*. Revised, Roma, FAO, 1977, 144p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- HARGREAVES, G. H. *Manual de requerimento de água para culturas irrigadas e agricultura seca*. Utah State University/USAID, 1976. 41p.
- HOLMES, J. W. et alii. Measurement of soil water. *Agronomy Journal*, 11: 275-80, 1967.
- REICHARDT, K. *Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera*. Piracicaba, FUNDAÇÃO CARGILL, 1975. 286p.
- ROSE, C.W. *Agricultural Physics*. Oxford, Pergamon Press, 1966. 230p.
- ROSE, C.W. & STERN, W.R. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as a function of depth and time. *Aust. J. Soil Research*, 15: 11-19, 1966.
- STAYLER, R.O. *Plant-water relationships*. New York, Academic Press, 1967. 366p.
- VACHAUD, G. et alii. Controle automatique "in situ" des transferts d'eau dans la zone non saturée. In: I.A.E.A. *Isotope and radiation technique in soil physics and irrigation studies*. Vienna, 1973. p. 1-5.