

Evaporação e Transpiração

Objetivos:

1. Definir evaporação, transpiração e evapotranspiração
2. Definir a evapotranspiração de referência - ETo
3. Medir e estimar a ETo
4. Definir coeficiente de cultura Kc
5. Construir a curva do Kc

Desenvolvimento:

1. Generalidades
 2. Evaporação
 3. Evaporação da Água de Reservatórios
 4. Evapotranspiração
 5. Evapotranspiração da cultura de referência – ETo
 6. Coeficiente de cultivo – Kc
 7. Conclusões
 8. Exercícios Propostos
 9. Bibliografia Citada e Recomendada
-

1. Generalidades

A evaporação e a transpiração são fenômenos físicos de mudança de estado de agregação da água, em condições naturais. Esses dois processos são de grande interesse bioclimatológico, pois afetam a disponibilidade de água em reservatórios superficiais e no perfil do solo em áreas agrícolas ou de vegetação natural. Em último caso tais processos determinam o tipo climático de uma dada região.

2. Evaporação

- Evaporação = vaporização + remoção do vapor d'água

Entre causas externas e internas que atuam na evaporação da água estão a temperatura do ar, a umidade do ar, a velocidade de deslocamento da massa de ar advectiva, radiação solar (intensidade e duração) e natureza da superfície evaporante.

Calor latente de vaporização da água (λ) → é o calor necessário para mudar do estado líquido para o estado de vapor uma massa unitária de água sob pressão e temperatura constantes, sendo expresso em termos de energia por unidade de massa.

$$\lambda = 2,501 - 0,0022361 \cdot T \quad (1)$$

com λ em MJ/kg e T= temperatura do ar (°C). Em estudos de evaporação e evapotranspiração T é a média diária.

Exemplo Prático 1) *A radiação solar global (R_g) incidente num determinado espelho d'água foi de 15,65 MJ m⁻² dia⁻¹, num dia de temperatura média igual a 15°C. Se toda a R_g fosse usada exclusivamente para evaporação de água, qual seria a lâmina e o volume d'água evaporado?*

Exemplo Prático 2) *Qual a variação (%) do calor latente de evaporação da água, quando a temperatura ambiente varia de 15°C para 30°C. O que acontece com o valor de λ ?*

3. Medida da Evaporação da Água

- Tanques evaporimétricos: Classe A, Colorado e GGI 3000

A evaporação em qualquer tanque é resultado do efeito conjugado da radiação solar incidente (R_s), velocidade do vento (U), temperatura do ar (T) e déficit de saturação (d) entre a superfície evaporante e o ar atmosférico logo acima, ou seja,

$$\text{Evaporação} = f [R_s, U, T, d]$$

Características do TCA (Figura 1):

- Circular
- 120.7 cm de diâmetro interno e 25 cm de profundidade
- Chapa galvanizada nº 22
- Acessórios: poço tranqüilizador, micrômetro de gancho, termômetros de máxima e mínima flutuantes e um anemômetro totalizador.



Figura 1 – Conjunto tanque Classe A completo (esquerda), poço tranqüilizador + micrômetro de gancho (centro) e micrômetro de gancho (direita).

Instalação do TCA:

- O tanque deve ser instalado em nível.
- O tanque é instalado sobre um estrado de madeira, ficando a parte inferior do tanque a aproximadamente 15 cm da superfície do solo. O objetivo é evitar as trocas de calor sensível entre o tanque e o solo, além de facilitar os trabalhos de manutenção.
- Dimensões do estrado de madeira 130 cm x 130 cm, sendo pintado com tinta óleo branca.
- O tanque é cheio de água limpa, até um nível máximo de 5 cm abaixo da borda livre superior, portanto a altura máxima de água no tanque é 20 cm.

Operação do TCA:

- Além do micrômetro de gancho pode-se utilizar uma régua ou sistema de bóia para se fazer a leitura do nível d'água no tanque.
- A leitura do nível d'água no tanque é sempre feita pela manhã, em intervalos de 24 horas
- A leitura do nível d'água é feita no poço tranqüilizador, utilizando-se para isso o micrômetro de gancho.
- Para o cálculo da evaporação total deve-se considerar as seguintes condições: a) sem ocorrência de precipitação; b) com ocorrência de precipitação ≤ 50 mm e c) com ocorrência de precipitação ≥ 75 mm.
- A lâmina d'água evaporada do tanque entre duas observações consecutivas e que atende às três condições acima pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$Ev = L_1 - L_2 + P - H \quad (2)$$

onde Ev = evaporação no intervalo transcorrido entre as leituras L_1 e L_2 , geralmente 24 horas; L_1 = leitura inicial do nível d'água; L_2 = leitura final do nível d'água; P = precipitação ocorrida no intervalo de tempo entre as leituras L_1 e L_2 e H = altura de lâmina d'água transbordada, quando da ocorrência de grandes chuvas (geralmente desconhecida e portanto a leitura é perdida).

- Recomenda-se introduzir na face interna do tanque uma faixa de 2,5 cm de largura, a 5 cm da borda livre superior, com o objetivo de limitar a amplitude máxima de variação de nível d'água no seu interior. Assim, sempre que o nível de água atingir, pela evaporação natural, a marca inferior, isto é, a 7,5 cm da borda livre superior, o observador deverá reenchê-lo até a marca superior e nunca acima desta. Razões: evitar transbordamento em período chuvoso e efeito da massa líquida na evaporação.

- O tanque tem, portanto, uma altura útil para medidas de $20 - 17,5 = 2,5 \text{ cm} = 25 \text{ mm}$. Normalmente o tanque é reabastecido uma vez por semana, trazendo-o de volta ao nível máximo.
- É comum perder-se a leitura do TCA em dias de chuva. Isto não é um grande problema, pois o dado de evaporação perde sua importância em um dia de chuva.
- O tanque, se galvanizado, deve ser pintado anualmente com tinta alumínio;
- O tanque deve ser protegido de forma que animais não bebam da sua água;
- Se a água ficar muito suja e/ou turva, deve-se trocá-la por água limpa.

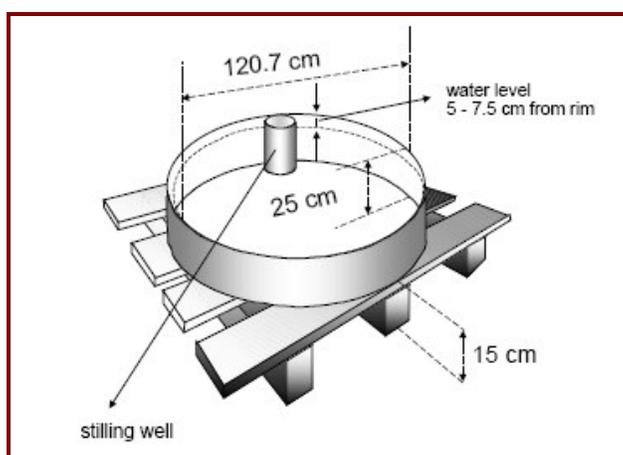


Figura 2 – Detalhes sobre as características, instalação e operação do tanque Classe A. (Fonte: ALLEN et al., 1998).

Exemplo Prático 3) *As leituras do TCA foram 45,42 mm no dia 21 de junho e 50,65 mm no dia seguinte. Sabendo-se que a precipitação total no período foi 10,23 mm, calcule a lâmina evaporada E_v , para o período.*

4. Evapotranspiração - ET

Evapotranspiração = evaporação (E) + transpiração (T), ou seja, é o processo de transferência simultânea de água para a atmosfera na forma de vapor a partir da superfície do solo e das folhas através dos estômatos.

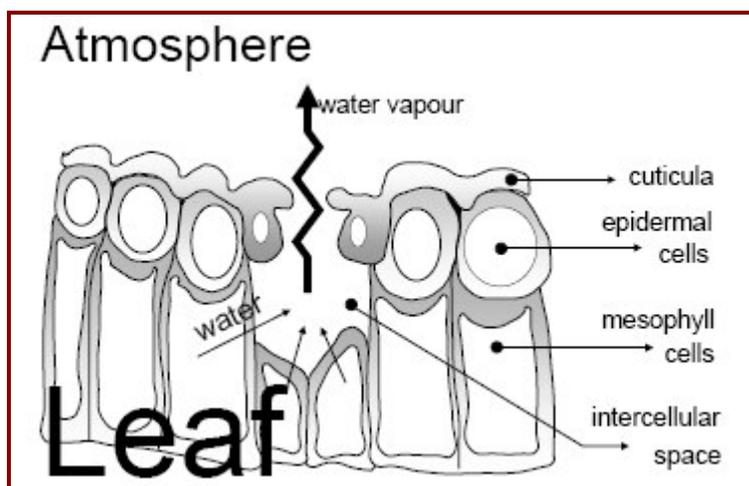


Figura 3 – Corte transversal de uma folha, mostrando a estrutura do estômato e difusão de vapor d'água. (Fonte: ALLEN et al., 1998)

- Do ponto de vista agrícola, tanto a evaporação quanto a transpiração contribuem para redução do teor de água armazenado no perfil do solo. Assim, se a planta retira água do solo para seu crescimento e desenvolvimento, então a determinação da ET (estimada ou medida) leva-nos à quantificação da lâmina ou volume de água de que as plantas necessitam durante seu ciclo. A rigor, a evaporação é uma perda indesejável, do ponto de vista agrônômico, pois é uma água que sai do solo sem participar das atividades biológicas da cultura.

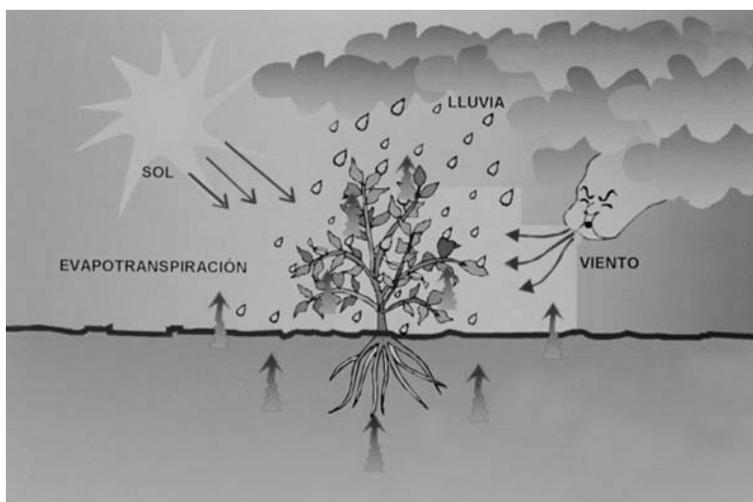


Figura 4 – Integração dos elementos de retirada e reposição de água no solo.

O conceito de ET tem recebido muitas modificações com o tempo, pois este processo interessa aos meteorologistas, climatologistas, hidrólogos, engenheiros de irrigação, cientistas do solo, etc. As três definições que serão vistas são de grande interesse para os engenheiros agrônomos e agrícolas.

Evapotranspiração potencial, ET_p → é a taxa (volume de água por unidade de tempo e de área) com que água é removida do perfil do solo. Esta definição tem sido sempre relacionada a plantas adequadamente supridas com água e comumente não limitadas por problemas de doenças ou fertilidade.

Evapotranspiração de referência, ET_o → é semelhante ao termo ET_p com a exceção de que ET_o é aplicada para uma cultura em particular, a exemplo da alfalfa ou grama. DOORENBOS & PRUITT (1977) foram os primeiros a apresentar a definição de ET_o tendo a grama como cultura de referência, ou seja, “ ET_o é a quantidade de água evapotranspirada na unidade de tempo e de área, por uma cultura de baixo porte, verde, cobrindo totalmente o solo, de altura uniforme e sem deficiência de água.”

Evapotranspiração da cultura, ET_c → é a evapotranspiração de uma cultura específica (fruteiras, hortaliças, graníferas, oleaginosas, plantas medicinais, e outras) sob condições particulares de disponibilidade de água, fertilidade do solo, tratos fitossanitários, e outras condições culturais.

5. Coeficiente de Cultivo – K_c

Coeficiente de cultivo, K_c → é um fator adimensional, determinado experimentalmente e que relaciona a evapotranspiração da cultura de referência ET_o com a da cultura ET_c , através da seguinte expressão:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (3)$$

Conhecendo-se o valor de K_c e ET_o , é possível se determinar a ET_c , rearranjando a expressão acima, ou seja:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (4)$$

6. Determinação da ET_o

A ET_o pode ser determinada usando-se métodos diretos e indiretos.

Métodos diretos: lisímetros de pesagem e Métodos indiretos: equações

Método do Tanque Classe A

A ET_o é obtida multiplicando-se a lâmina d'água evaporada no tanque (ECA) por um fator de conversão, como se segue:

$$ET_o = K_p \cdot ECA \quad (5)$$

onde: K_p = coeficiente do tanque ECA = lâmina d'água evaporada no tanque (mm/dia)

O K_p é um valor tabelado em função das condições de instalação do tanque (área com ou sem vegetação), velocidade do vento, umidade relativa média e tamanho da bordadura (Tabela 1).

FUNDAMENTOS DE METEOROLOGIA E CLIMATOLOGIA
Prof. Aureo S. de Oliveira – NEAS/UFRB

Tabela 1 - Valores de Kp em função dos dados meteorológicos da região e do meio em que o tanque Classe A se encontra instalado (Fonte: DOORENBOS & PRUITT, 1977).

	Posição do Tanque B (m)*	Exposição A Tanque circundado por grama UR média (%)			Posição do Tanque B (m)*	Exposição B Tanque circundado por solo nu UR média (%)		
		Baixa <40	Média 40-70	Alta >70		Baixa <40	Média 40-70	Alta >70
Vento (km/dia)								
Leve <175	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado 175-425	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte 425-700	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito forte >700	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

Nota: Para extensas áreas de solo nu, reduzir os valores de Kp de 20% em condições de alta temperatura e vento forte, de 10 a 5% em condições de moderada temperatura, vento e umidade.

* Por B entende-se como a menor distância (expressa em metros) do centro do tanque ao limite da bordadura (grama ou solo nu).

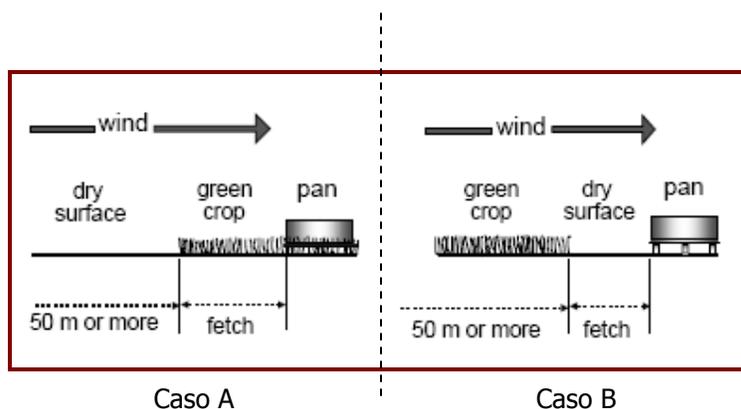


Figura 4 – Situações para instalação do tanque Classe A, referente aos valores de Kp na Tabela 1.

Método de Hargreaves (1985)

Este não é um método sugerido pela FAO (1977), mas tem tido grande aceitação pela sua simplicidade de uso, precisão e pequena quantidade de dados de entrada.

$$ET_o = 0,0023 \cdot R_a \cdot (17,8 + T) \cdot (T_x - T_n)^{0,5} \quad (6)$$

onde ET = evapotranspiração da cultura de referência (mm/dia); Ra = radiação solar no topo da atmosfera (mm/dia); T = temperatura média (°C); Tx = máxima temperatura do dia (°C); Tn = mínima temperatura do dia (°C).

$$T_m = \frac{T_x + T_n}{2} \quad (7)$$

Exemplo Prático 3) Local = Cruz das Almas (12° de latitude Sul); Mês = janeiro; Tx = 28°C; Tn = 20°C (valores hipotéticos). Determinar a ETo média diária para aquele mês; bem como a ETo total mensal.

7. Curva de Kc e determinação da ETc

Metodologia de DOORENBOS & PRUITT (1977): Dividir o ciclo da cultura em 4 estádios de desenvolvimento.

Estádio I – Inicial – da germinação até a cultura cobrir 10% da superfície do terreno, ou 10 a 15% do seu desenvolvimento vegetativo – o Kc 0,2 a 1,0

Estádio II – Secundário ou de Desenvolvimento vegetativo – do final do primeiro estádio até a cultura cobrir de 70 a 80% da superfície do terreno ou atingir de 70 a 80% do seu desenvolvimento vegetativo – o Kc varia linearmente entre os valores no primeiro e terceiro estádios.

Estádio III – Intermediário ou de produção – do final do segundo estádio até o início da maturação, também denominado estádio de produção – o Kc varia de 0,9 a 1,25

Final ou de maturação – do início da maturação até a colheita ou final da maturação – o Kc varia linearmente entre os valores do terceiro estádio e de 0,3 a 1,0

Exemplo Prático 4) Considere os seguintes dados e construa a curva do Kc:

Cultura = feijão

Dados culturais:

Plantio: 10 de março

Cobertura de ± 10% da superfície do solo: 1º abril

Cobertura de ± 75% da superfície do solo: 21 abril

Início da maturação = 2 de junho

Colheita = 14 de junho

Período em dias dos quatro estádios:

I = 22 dias

II = 20 dias

III = 42 dias

IV = 14 dias

Use também o método da FAO para $ET_o = 3,4$ mm/dia, TR = 7dias, Vento = 2 m/s e $UR_{min} = 80\%$.

8. Conclusões

Pelo que foi apresentado verifica-se que a evapotranspiração é uma importante variável meteorológica. Ela é o resultado da dinâmica e interação de outras variáveis com o sistema solo-planta, determinando a taxa de transferência de água para a atmosfera de uma determinada área. O conceito de evapotranspiração aplica-se a áreas vegetadas com culturas agrícolas ou vegetação natural. Neste último caso é fator essencial para estudos hidrológicos em bacias hidrográficas.

9. Exercícios Propostos

EP.01. Um tanque Classe A encontra-se instalado no centro de uma área circular recém-arada e gradeada de 10 ha. Leituras no tanque durante uma semana indicaram uma evaporação média de 6,5 mm/dia. As condições de vento e umidade durante aquele intervalo de tempo foram: velocidade do vento 3,2 m/s e umidade relativa do ar 68%. Com base nessas informações determine:

- a) o coeficiente, K_p
- b) a E_{To} média do período (mm/dia)
- c) a E_{To} acumulada no período (mm)
- d) a E_{Tc} média (mm/dia) de uma cultura com $k_c = 0,95$
- e) a E_{Tc} acumulada (mm) no período

EP.02. Com base nas informações do quadro a seguir, determine graficamente a curva do K_c para certa variedade de amendoim, considerando-se o plantio no dia 20 de agosto:

Estádios de crescimento		I	II	III	IV
Período (dias)		25	35	45	25
UR (%)	Média	82	66	75	60
	Mínima	50	30	40	40
Temp. (°C)	Máxima	24,0	28,3	25,4	30,0
	Mínima	12,1	20,6	13,5	19,7
Ro (MJ/m ² dia)		28,1	28,9	32,1	36,0
Vel. vento 2 m (m/s)		3,0	3,5	1,9	4,0
Frequência de irrigação = 4 dias					

- a) Determine a E_{To} média em cada um dos períodos de crescimento acima, com base no método de Hargreaves.
- b) Qual a E_{To} acumulada durante todo o ciclo da cultura?
- c) A partir da curva do K_c traçada anteriormente, determine a evapotranspiração da cultura do amendoim nos dias 02/09, 30/09 e 10/12.
- d) Estime a E_{Tc} média da cultura em cada período de crescimento.
- e) Qual a E_{Tc} acumulada durante todo o ciclo da cultura? Qual é o volume de água por hectare?

10. Bibliografia Citada e Recomendada

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy. 1998. 300 p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. Rome, Italy. 1992 (reprinted). 144 p.

REICHARDT, K. A Água em Sistemas Agrícolas. São Paulo: Manole. 1986. 188 p.