

# Agrometeorologia



Professor: Antonio Henrique Cordeiro Ramalho



Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA



Instituto de Biodiversidade e Florestas



## Capítulo 7

# Evaporação e Evapotranspiração



# Evaporação e Transpiração

Fenômenos físicos de mudança de estado de agregação da água, em condições naturais. 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

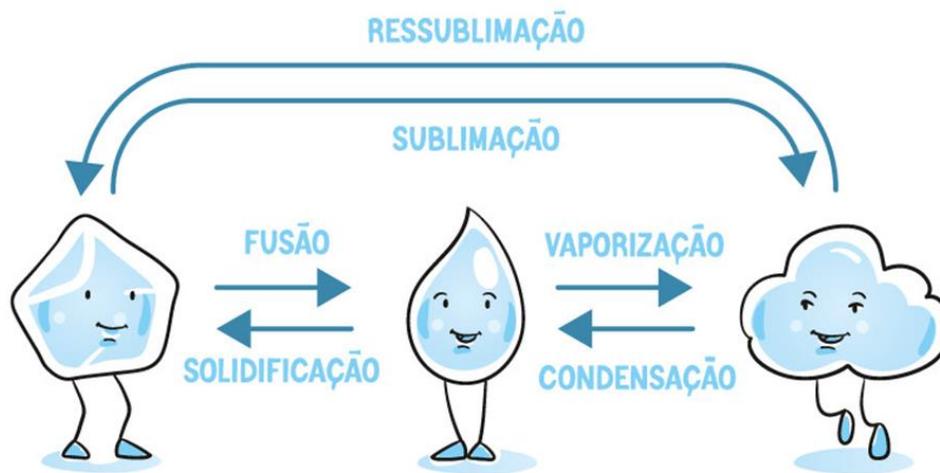
Condensação

Infiltração

Evaporação

Transpiração

Precipitação





# Evaporação

Nesta etapa, a água passa para a atmosfera ao absorver energia térmica proveniente do sol e mudar para o estado gasoso, sendo a **principal fonte de umidade na atmosfera.**

Evaporação

=

Vaporização

+

Remoção do vapor d'água

Resumindo

A água dos corpos d'água e da vegetação úmida sofrem a vaporização.

Evaporação da água das superfícies de água livre, vegetação úmida ou do solo





# Evaporação

Para que ocorra evaporação da água há a necessidade de energia. Essa energia é chamada de calor latente de vaporização ( $\lambda E$ ).

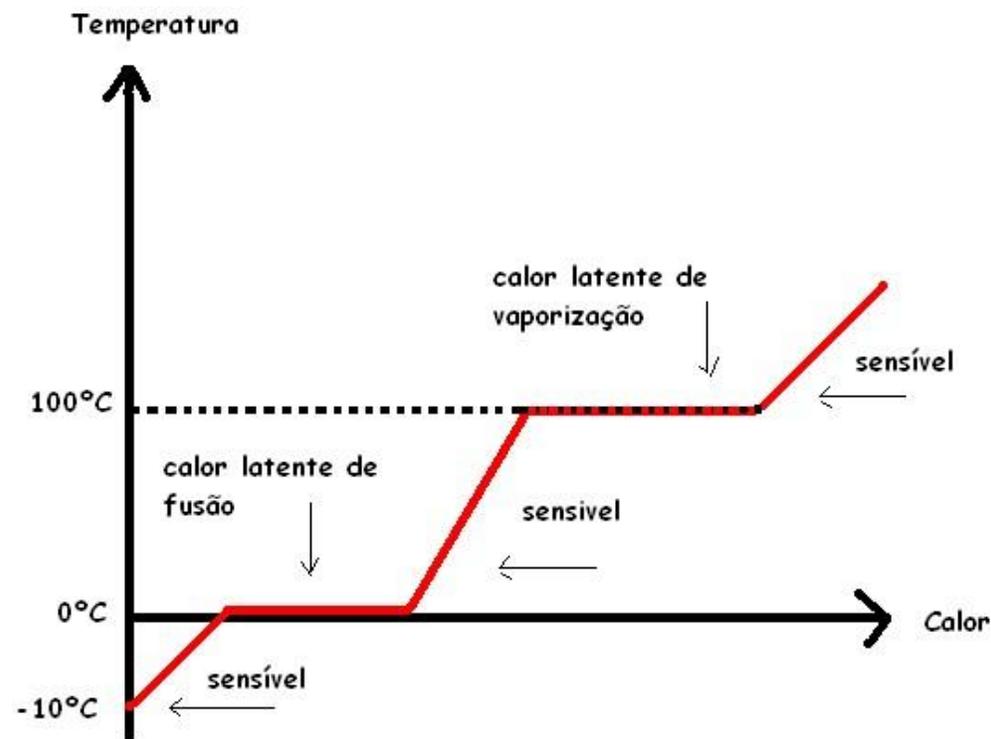
## Calor latente de vaporização da água

Quantidade de calor necessária para transformar água líquida em vapor.

$$\lambda E = 2,501 - 0,0022361 \times T$$

$\lambda E$  = Calor latente de vaporização da água ( $\text{MJ.kg}^{-1}$ ); e

$T$  = Temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )





# Cálculo do calor latente

A **quantidade de calor latente** é determinada pelo **produto da massa (m)** do **corpo** que sofreu a transformação de estado e o chamado **calor latente vaporização (L)**:



$$Q = m \cdot L$$

**Q:** quantidade de calor (cal ou J)

**m:** massa (g ou Kg)

**L:** calor latente (cal/g ou J/Kg)

1 kcal = 1000 cal  
1 kg = 1000 g

**No caso da água, o calor latente de vaporização é de 540 cal/g;**

Cada grama de água a 100°C precisa de 540 cal de calor para vaporizar



# Cálculo do calor latente

Exercício 1)

Uma massa de 400 g de água está exatamente a 100 °C. Sabendo que o calor de vaporização da água é de 540 cal/g, determine a quantidade de calor, **em kcal**, necessária para vaporizar/evaporar toda a massa de água.

$$Q = m \times L \quad \Rightarrow \quad Q = 400 \cancel{\text{ g}} \times 540 \cancel{\text{ cal/g}} \quad \Rightarrow \quad Q = \frac{216.000 \cancel{\text{ cal}}}{1000}$$

1 kcal = 1000 cal
1 kg = 1000 g

$$Q = 216 \text{ kcal}$$





# Cálculo do calor latente

Exercício 2)

Uma massa de 2000 g de água está exatamente a 100 °C. Sabendo que o calor de vaporização da água é de 540 cal/g, determine a quantidade de calor, em kcal, necessária para vaporizar/evaporar **30% da massa de água**.

$$m = \frac{2.000 \times 30}{100} \Rightarrow m = 600 \text{ g}$$

$$Q = m \times L \Rightarrow Q = 600 \text{ g} \times 540 \text{ cal/g} \Rightarrow Q = 324.000 \text{ cal}$$

1 kcal = 1000 cal
1 kg = 1000 g

$$Q = 324 \text{ kcal}$$



# Cálculo do calor latente

Exercício 3)

Ao receber 250 kcal de calor, uma amostra de determinada substância sofre completa vaporização/evaporação. Sabendo que a amostra tem 1 kg de massa, determine seu calor latente de vaporização em **cal/g**.

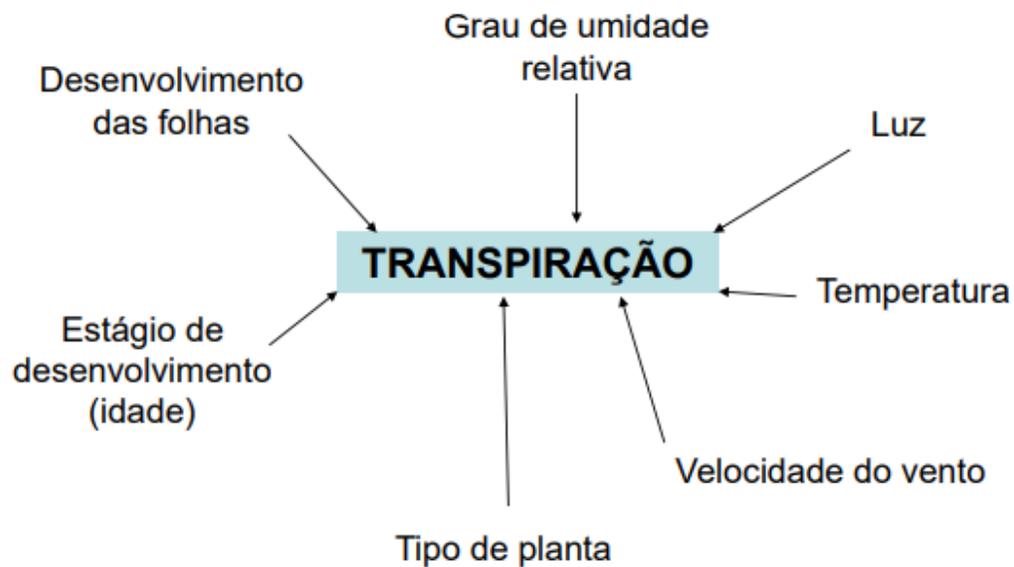
$$Q = 1000g \times L \Rightarrow 250.000cal = 1.000 g \times L \Rightarrow 250.000 cal = 1.000g L$$

$$L = \frac{250.000 cal}{1.000 g} \Rightarrow L = 250 cal/g$$



# Transpiração

Eliminação de água presente em organismos vivos – plantas e animais – em direção à atmosfera, sendo que no caso dos animais, o processo de transpiração ocorre pela pele, enquanto nas plantas, ocorre pelas folhas.



Nas plantas, a água absorvida, é transferida para a atmosfera pelos estômatos, obedecendo uma série de resistências (solo, xilema, mesófilo, estômatos e atmosfera)



# Transpiração

Praticamente toda a água absorvida pela planta é perdida pela transpiração, e somente uma pequena fração é usada dentro da planta

## Evaporação

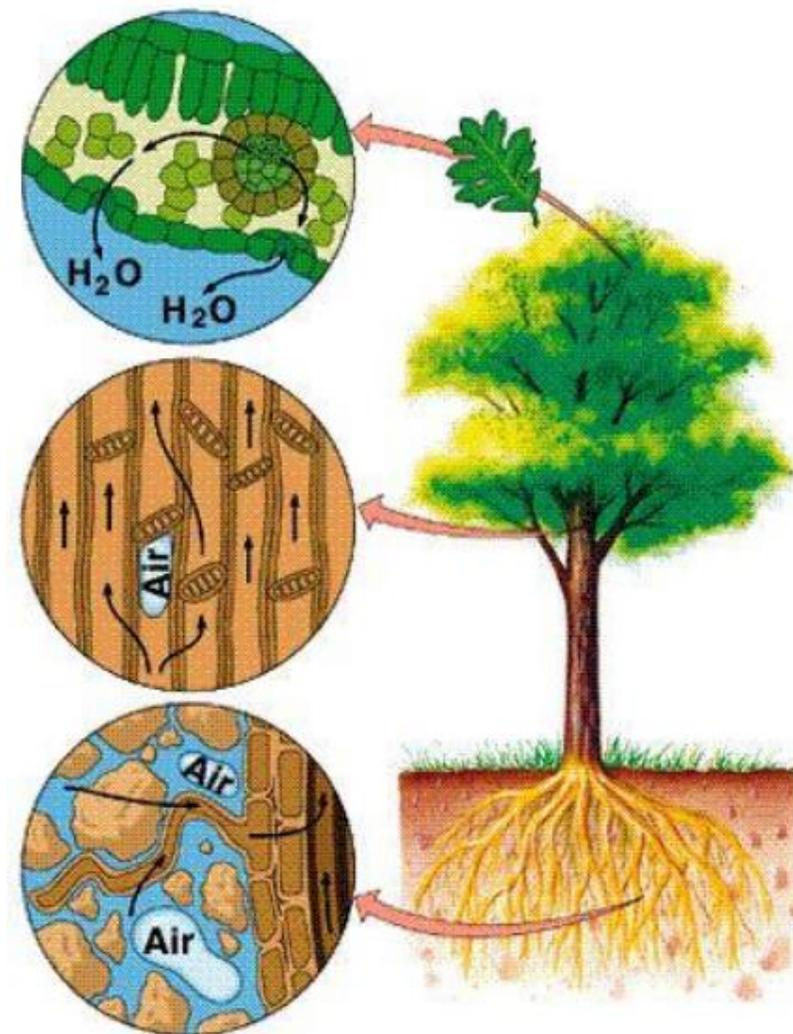
O abaixamento do potencial hídrico da atmosfera (ar) promove a evaporação das paredes celulares. Isso promove a redução do potencial hídrico nas paredes celulares e no citoplasma

## Coesão (no xilema)

A coluna de água no xilema é mantida por coesão das moléculas de água nos vasos. Bolhas de ar bloqueia o movimento

## Absorção de água (do solo)

O menor potencial hídrico das raízes provoca a entrada de água. A área de absorção depende da quantidade de radículas. A água se move através da endoderme por osmose





# Evapotranspiração (ET)

A evaporação e a evapotranspiração são indicadas nas mesmas unidades da precipitação, utilizando-se **a altura da lâmina d'água, expressa em milímetros.**



1 mm

=

Transferência de 1 L de água para cada m<sup>2</sup> da projeção da superfície evaporante para a atmosfera



# A importância da ET na silvicultura

Da água doce que realmente é utilizada, 70% é na prática da irrigação.

Saber a demanda hídrica das culturas é importante para **explorar o potencial máximo de produção**

Falta de água durante o desenvolvimento



Quedas de produção

Quantidade de água necessária durante um ano (ou ciclo) da cultura	
Cultura	Consumo de água (mm)*
Cana de açúcar	1000 - 2.000
Café	800 - 1.200
Eucalipto	800 - 1.200
Citrus	600 - 1.200
Milho	400 - 800
Feijão	300 - 600





# Fatores condicionantes da ET

Existem vários fatores que afetam a evapotranspiração, incluindo:

## Temperatura

A evapotranspiração aumenta à medida que a temperatura aumenta, pois a água evapora mais rapidamente em temperaturas mais quentes

## UR%

A evapotranspiração diminui à medida que a umidade do ar aumenta, pois o ar úmido contém mais vapor de água e, portanto, menos água é evaporada.

## Velocidade do vento

A ET aumenta com o aumento da velocidade do vento, pois o vento leva o vapor de água para longe das plantas e do solo, permitindo que mais água seja evaporada.





# Fatores condicionantes da ET

## Cobertura vegetal

A evapotranspiração é maior em áreas com muita vegetação, pois as plantas liberam água através de seus poros para a atmosfera



## Tipo de solo

Solos com alta capacidade de retenção de água (argilosos) têm a ET menor do que solos com baixa capacidade de retenção de água (arenosos)



## Disponibilidade de água

A ET é limitada pela disponibilidade de água. Se a água estiver disponível em quantidade suficiente, a ET ocorre de maneira mais intensa, caso contrário, a ET será reduzida.





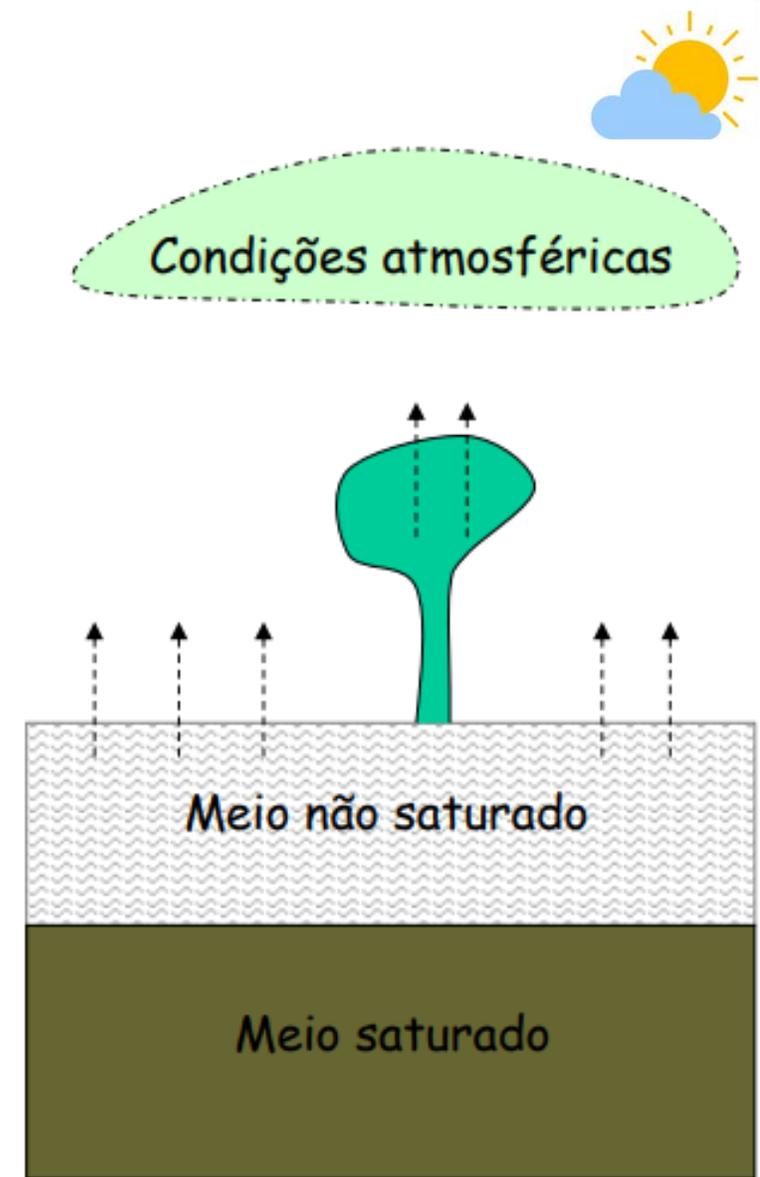
# Conceitos de evapotranspiração

## Evapotranspiração Potencial (Eto)

Quantidade máxima de água que **seria perdida** para a **atmosfera** se houvesse água suficiente no solo e a cobertura vegetal fosse completa e uniforme.

## Evapotranspiração real (ETR)

Quantidade total de água **efetivamente perdida** para a **atmosfera** através da evaporação do solo e da transpiração das plantas.





# Conceitos de evapotranspiração

## ETc (Evapotranspiração da Cultura)

Relação entre a quantidade de água que uma cultura precisa para crescer e se desenvolver adequadamente durante um determinado período de tempo e quantidade “perdida” para a atmosfera.

A ETc é calculada com base na evapotranspiração potencial ( $ET_0$ ) da região e na eficiência da cultura em utilizar a água disponível no solo.

$$ETc = ET_0 \times Kc$$

$Kc$  é o coeficiente de cultura, que varia conforme a área foliar da cultura





# Conceitos de evapotranspiração

## ET<sub>o</sub> (Evapotranspiração Potencial da Cultura)

Quantidade máxima de água que uma cultura em específico **poderia evaporar e transpirar** em condições ideais de disponibilidade de água, temperatura, umidade e ventos.

Pode ser determinada pelo método do **TANQUE CLASSE A** ou pela **equação de Pennam**

### TANQUE CLASSE A

$$ET_o = E_{CA} \times KT$$

### Pennam

$$ET_o = \frac{1}{59} \times \frac{\frac{\Delta}{y} \times Rn + Ea}{\frac{\Delta}{y} + 1}$$





# Conceitos de evapotranspiração

## Evapotranspiração real da cultura (E<sub>Tr</sub>)

Quantidade de água que uma cultura em específico **evapotranspira** durante um determinado período de tempo, levando em consideração as condições climáticas e a disponibilidade de água no solo.

Para o cálculo, é considerado, além da E<sub>To</sub> e K<sub>c</sub>, o K<sub>s</sub>: o coeficiente de solo, sendo:

$$E_{Tr} = E_{To} \times K_c \times K_s$$

K<sub>c</sub> é o coeficiente de cultura, que varia conforme a área foliar da cultura;  
K<sub>s</sub> é o coeficiente que depende da umidade do solo



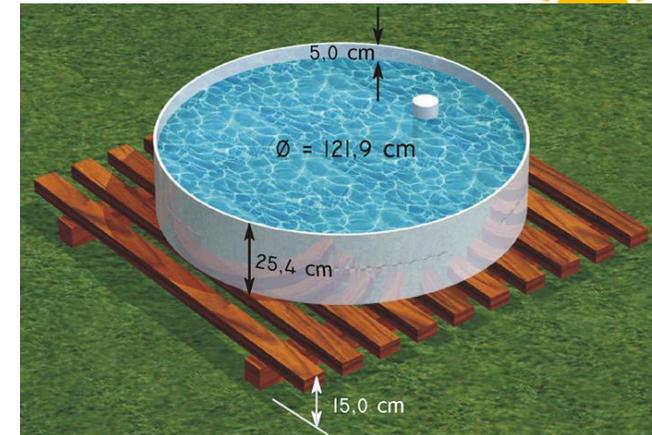
# Medida da Evaporação – Tanque Classe A



O tanque classe A é o método mais utilizado de estimativa da evaporação no mundo



- Tanque de aço galvanizado, instalado sobre estrado de madeira ou no solo;
- O tanque é preenchido com água até 5cm da borda, sendo o mínimo 7,5cm;
- Não deve ser enchido acima do nível recomendado, para reduzir risco de transbordar em caso de chuva intensas;
- A medida da evaporação é feita ao monitorar a **quantidade de água que evapora do Tanque durante um dia;**
- **A quantidade de água restante é medida diariamente,** geralmente pela manhã, antes do preenchimento diário do tanque



Tanque Classe A



# Medida da Evaporação – Tanque Classe A



- Dentro do tanque instala-se um tranquilizador, para evitar ondas e permitir uma leitura exata do nível da água;
- A leitura é realizada todos os dias às 9h, sendo a diferença entre duas leituras consecutivas de nível o valor da evaporação no tanque classe ( $E_{CA}$ )

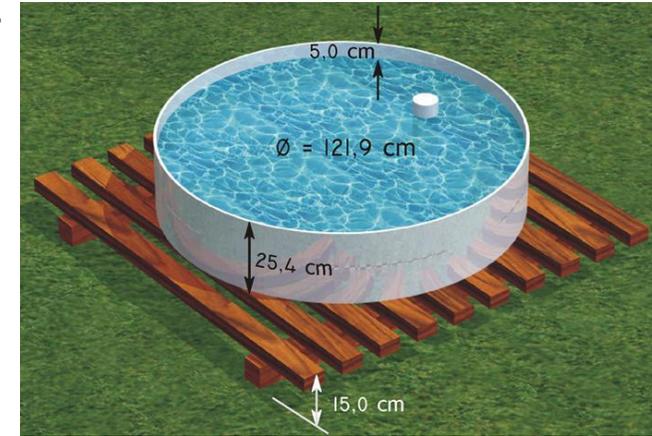
$$E_{CA} = (V_o - V_h) + P$$

$E_{CA}$ : Evaporação do tanque classe A;

P: precipitação ocorrida no período (mm);

$V_{n-1}$ : leitura do nível d'água no tanque (mm), no dia anterior; e

$V_n$ : leitura do nível d'água no tanque (mm), no dia atual



Tanque Classe A





# Medida da Evaporação – Tanque Classe A

## Exercício 4)

Calcule a evaporação através do método direto (Tanque Classe A) para o período de 21/01/2022 a 26/01/2022, nas seguintes condições:

Condições	Data					
	21/01/2022	22/01/2022	23/01/2022	24/01/2022	25/01/2022	26/01/2022
Precipitação	55 mm	62 mm	80 mm	26 mm	45 mm	68 mm
Leitura (volume)	237,96 mm	235,8 mm	234,22 mm	234,1 mm	233,21 mm	250,51 mm
$E_{CA}$	-	64,16 mm	81,58 mm	26,12 mm	45,89 mm	50,7 mm

$$E_{CA} = (V_o - V_h) + P$$

$$E_{CA} = (237,96 - 235,8) + 62$$



# Medida da Evapotranspiração potencial - Tanque Classe A

A  $ET_o$  é determinada multiplicando-se a  $E_{CA}$  por um coeficiente de tanque ( $KT$ ):

$$ET_o = E_{CA} \times KT$$

$ET_o$ : Evapotranspiração potencial do tanque classe A;

$E_{CA}$ : Evaporação do tanque classe A; e

$K_T$ : coeficiente do tanque Classe A

O coeficiente  $KT$  depende do tipo e da extensão da superfície sobre a qual o tanque foi instalado, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento





# Medida da Evapotranspiração potencial - Tanque Classe A

Quadro 1. Coeficiente para conversão da evaporação no tanque classe A para evapotranspiração da cultura.

Velocidade do vento a 2m de altura	Raio da área tampão (m)	Tanque circundado por grama			Tanque circundado por solo		
		Umidade relativa (%)			Umidade relativa (%)		
		<40	40-70	>70	<40	40-70	>70
< 175 km/dia < 2,0 m/s	1	0,55	0,65	0,75	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	0,50	0,60	0,70
175 – 425 km/dia 2,0 – 4,9 m/s	1	0,50	0,60	0,65	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	0,45	0,55	0,60
425 – 700 km/dia 4,9 – 8,1 m/s	1	0,45	0,50	0,60	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	0,50	0,55	0,60
	100	0,60	0,65	0,75	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	0,40	0,45	0,55
> 700 km/dia > 8,1 m/s	1	0,40	0,45	0,50	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	0,35	0,40	0,45



# Medida da Evapotranspiração potencial - Tanque Classe A

## Exercício 5)

Calcule a **evapotranspiração potencial ( $E_{t_0}$ )** pelo método do TANQUE CLASSE A para a cultura do feijão em estágio III, considerando os seguintes dados:

Tipo da superfície onde o tanque foi instalado	Gramma
Bordadura	10 m
Umidade relativa (UR%)	81,9%;
Velocidade do vento a 2 m de altura ( $U_2$ )	1,16 m/s
Evaporação do tanque classe A (ECA)	2,55 mm/dia



# Medida da Evapotranspiração potencial - Tanque Classe A

Tipo da superfície	Gramma
Bordadura	10 m
Umidade relativa	81,9%;
Velocidade do vento a 2 m	1,16 m/s
ECA	2,55 mm/dia

$$ET_o = E_{CA} \times KT$$

$$ET_o = 2,55 \times 0,85$$

$$ET_o = 2,17 \text{ mm. dia}^{-1}$$

Quadro 1. Coeficiente para conversão da evaporação no tanque classe A para evapotranspiração da cultura.

Velocidade do vento a 2m de altura	Raio da área tampão (m)	Tanque circundado por grama			Tanque circundado por solo		
		Umidade relativa (%)			Umidade relativa (%)		
		<40	40-70	>70	<40	40-70	>70
< 175 km/dia < 2,0 m/s	1	0,55	0,65	0,75	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	0,50	0,60	0,70
175 – 425 km/dia 2,0 – 4,9 m/s	1	0,50	0,60	0,65	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	0,45	0,55	0,60
425 – 700 km/dia 4,9 – 8,1 m/s	1	0,45	0,50	0,60	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	0,50	0,55	0,60
	100	0,60	0,65	0,75	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	0,40	0,45	0,55
> 700 km/dia > 8,1 m/s	1	0,40	0,45	0,50	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	0,35	0,40	0,45





# Medida da Evapotranspiração da cultura - Tanque Classe A

Uma vez conhecido o valor de  $ET_o$ , a evapotranspiração da cultura pode ser determinada pelo uso da seguinte equação:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

$ET_c$ : Evapotranspiração da cultura;

$ET_o$ : Evapotranspiração potencial do tanque classe A; e

$K_c$ : Coeficiente de cultura, adimensional

O coeficiente de cultura  $K_c$  é função de cada cultura e do estágio de desenvolvimento da mesma:

**Estágio I → estágio inicial;**

**Estágio II → estágio vegetativo;**

**Estágio III → estágio de produção; e**

**Estágio IV → estágio de maturação**

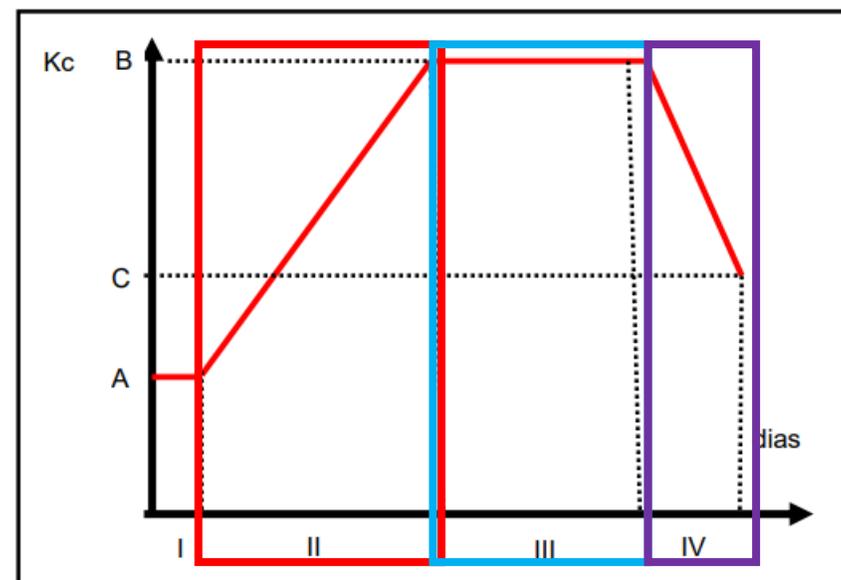




# Medida da Evapotranspiração da cultura - Tanque Classe A

A duração de cada estágio aumenta se:

- A variedade for de ciclo longo;
- A temperatura for baixa;
- O fotoperíodo for menor;
- Houver restrição de água no solo



Quadro 2. Valores para coeficiente de cultura

Cultura	II	III	IV	Cultura	II	III	IV
Algodão	0,45	1,15	0,65	Milho	0,45	1,15	0,60
Aveia	0,45	1,15	0,20	Soja	0,45	1,10	0,45
Batata	0,70	1,15	0,75	Sorgo	0,45	1,10	0,55
Feijão	0,45	1,15	0,25	Tomate	0,80	1,20	0,65
Melão	0,70	1,15	0,75	Trigo	0,45	1,15	0,20

Figura 5. Variação do coeficiente de cultura conforme a idade da cultura.



# Medida da Evapotranspiração da cultura - Tanque Classe A

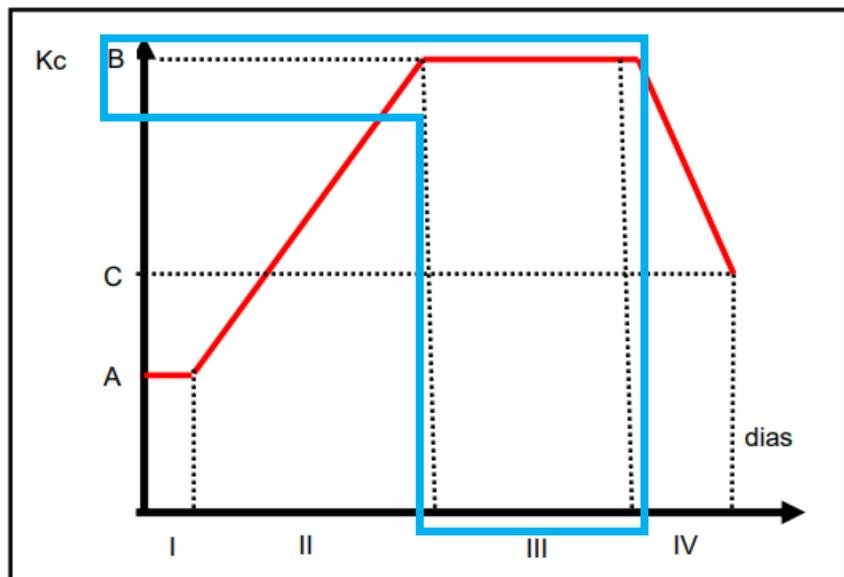
## Exercício 6)

Calcule a **evapotranspiração da cultura (Etc)** pelo método do TANQUE CLASSE A para a cultura do feijão em estágio III, considerando os seguintes dados:

Tipo da superfície onde o tanque foi instalado	Grama
Bordadura	10 m
Umidade relativa (UR%)	81,9%;
Velocidade do vento a 2 m de altura (U2)	1,16 m/s
Evaporação do tanque classe A (ECA)	2,55 mm/dia



# Medida da Evapotranspiração da cultura - Tanque Classe A



**Feijão em estágio III**

Logo

$$K_c = 1,15$$

$$ET_o = 2,17 \text{ mm. dia}^{-1}$$

Quadro 2. Valores para coeficiente de cultura

Cultura	II	III	IV	Cultura	II	III	IV
Algodão	0,45	1,15	0,65	Milho	0,45	1,15	0,60
Aveia	0,45	1,15	0,20	Soja	0,45	1,10	0,45
Batata	0,70	1,15	0,75	Sorgo	0,45	1,10	0,55
Feijão	0,45	1,15	0,25	Tomate	0,80	1,20	0,65
Melão	0,70	1,15	0,75	Trigo	0,45	1,15	0,20

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

$$ET_c = 2,17 \times 1,15$$

$$ET_c = 2,49 \text{ mm. dia}^{-1}$$

Figura 5. Variação do coeficiente de cultura conforme a idade da cultura.





# Medida da Evapotranspiração potencial - Penman

O método de Penman, **mais utilizado no mundo**, reflete o fato das equações propostas associarem os efeitos do balanço de energia e do vento para estimar as perdas de água de superfícies cultivadas. A expressão proposta:

$$ET_o = \frac{1}{59} \times \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \times Rn + Ea}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad Ea = 15,36 \times (W_1 + W_2 \times U_2) \times (e_s - e)$$

Em que,

$\frac{\Delta}{\gamma}$  = Depende da temperatura e da pressão;  
 Rn = Saldo de radiação (cal. cm<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>);  
 Ea = Capacidade evaporativa do ar (cal. cm<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup>);

Em que,

$U_2$  = Velocidade do vento medida a 2m de altura;  
 $W_1$  = Depende da superfície evaporante;  
 água livre:  $W_1 = 0,5$ ;  
 vegetação:  $W_1 = 1,0$ ;  
 $W_2$  = Seu valor depende da unidade de  $U_2$ ;  
 se  $U_2$  em km/dia,  $W_2 = 0,00625$ ;  
 se  $U_2$  em milhas/dia,  $W_2 = 0,01$ ;  
 se  $U_2$  em m/s,  $W_2 = 0,54$ ;  
 $e_s$  = pressão de saturação de vapor d'água (mb);  
 $e$  = pressão real de vapor d'água (mb);



Quadro 4. Valores de  $\Delta/\gamma$ .

Temperatura (°C)	Altitude (m)				
	0	500	1000	1500	2000
0	0,678	0,716	0,757	0,804	0,858
1'	0,722	0,762	0,807	0,857	0,913
2	0,769	0,811	0,859	0,912	0,972
3	0,818	0,863	0,913	0,970	1,034
4	0,869	0,917	0,971	1,031	1,100
5	0,924	0,975	1,032	1,096	1,169
6	0,981	1,035	1,096	1,164	1,241
7	1,041	1,099	1,163	1,236	1,317
8	1,105	1,166	1,234	1,311	1,398
9	1,172	1,236	1,309	1,390	1,482
10	1,242	1,310	1,387	1,473	1,571
11	1,315	1,388	1,469	1,560	1,664
12	1,393	1,470	1,556	1,652	1,762
13	1,474	1,555	1,646	1,748	1,864
14	1,559	1,645	1,741	1,849	1,972
15	1,648	1,739	1,841	1,955	2,085
16	1,742	1,838	1,946	2,066	2,203
17	1,840	1,942	2,055	2,183	2,327
18	1,943	2,050	2,170	2,305	2,457
19	2,050	2,164	2,290	2,432	2,594
20	2,163	2,282	2,416	2,566	2,736
21	2,281	2,407	2,548	2,706	2,885
22	2,404	2,537	2,685	2,852	3,041
23	2,533	2,673	2,829	3,005	3,204
24	2,668	2,815	2,980	3,165	3,375
25	2,809	2,964	3,137	3,332	3,553
26	2,956	3,119	3,302	3,507	3,739
27	3,109	3,281	3,473	3,689	3,933
28	3,270	3,451	3,652	3,879	4,136
29	3,437	3,627	3,839	4,078	4,348





# Medida da Evapotranspiração potencial - Penman

## Exercício 7)

Calcule a evapotranspiração de referência pelo método PENMAN (1948) para a cultura do feijoeiro na fase de produção (fase III), considerando os seguintes

dados:

Tipo da superfície onde o tanque foi instalado	Gramma
Bordadura	10 m
Umidade relativa (UR%)	81,9%;
Velocidade do vento a 2 m de altura (U2)	1,55 m.s <sup>-1</sup>
Evaporação do tanque classe A (ECA)	2,55 mm/dia
Altitude	650 m
T <sub>máx</sub>	23,5 °C
T <sub>mín</sub>	10,1 °C
T	15,4 °C
n (horas de brilho solar no mês de Julho)	234,0

**$R_n = 5,41 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$**   
 **$e_s = 17,50 \text{ mb}$ ;**  
 **$e = 14,33 \text{ mb}$**



# Medida da Evapotranspiração potencial -

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

$$1 \text{ MJ/m}^2 = 23,89 \text{ cal/cm}^2$$

$$1 \text{ ly (langley)} = 1 \text{ cal/cm}^2$$

$$1 \text{ ly/min} = 697,633 \text{ W/m}^2$$

$$ET_o = \frac{1}{59} \times \frac{\frac{\Delta}{y} \times Rn + Ea}{\frac{\Delta}{y} + 1}$$

$$Rn = 5,41 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1} \rightarrow \frac{1 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}}{5,41 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}} = \frac{23,89 \text{ cal.cm}^{-2}}{x}$$

$$Rn = 129,24 \text{ cal.cm}^{-2}$$

$$Ea = 15,36 \times (W_1 + W_2 \times U_2) \times (e_s - e)$$

$$Ea = 15,36 \times (1 + 0,54 \times 1,55) \times (17,50 - 14,33)$$

$$Ea = 15,36 \times (1,837) \times (3,17)$$

$$Ea = 89,44 \text{ cal.cm}^{-2}$$

Em que,

$U_2$  = Velocidade do vento medida a 2m de altura;

$W_1$  = Depende da superfície evaporante;

água livre:  $W_1 = 0,5$ ;

vegetação:  $W_1 = 1,0$ ;

$W_2$  = Seu valor depende da unidade de  $U_2$ ;

se  $U_2$  em km/dia,  $W_2 = 0,00625$ ;

se  $U_2$  em milhas/dia,  $W_2 = 0,01$ ;

se  $U_2$  em m/s,  $W_2 = 0,54$ ;

$e_s$  = pressão de saturação de vapor d'água (mb);

$e$  = pressão real de vapor d'água (mb);



# Medida da Evapotranspiração

$$ET_o = \frac{1}{59} \times \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \times Rn + Ea}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

$$Rn = 129,24 \text{ cal. cm}^{-2}$$

$$Ea = 89,44 \text{ cal. cm}^{-2}$$

Considerado  $T=15,4 \text{ }^\circ\text{C}$  e ALT=650 m, temos:

Altitude (m)	$\frac{\Delta}{\gamma}$
1000	1,841
650	$\frac{\Delta}{\gamma}$
500	1,739

$$\frac{1000 - 500}{650 - 500} = \frac{1,841 - 1,739}{\frac{\Delta}{\gamma} - 1,739}$$

$$500 \text{ — } 0,102$$

$$150 \text{ — } \frac{\Delta}{\gamma} - 1,739$$

$$500\frac{\Delta}{\gamma} - 869,5 = 150 \times 0,102$$

$$500\frac{\Delta}{\gamma} = 15,3 + 869,5$$

$$\frac{\Delta}{\gamma} = \frac{884,8}{500} = 1,77$$

Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	Altitude (m)				
	0	500	1000	1500	2000
0	0,678	0,716	0,757	0,804	0,858
1'	0,722	0,762	0,807	0,857	0,913
2	0,769	0,811	0,859	0,912	0,972
3	0,818	0,863	0,913	0,970	1,034
4	0,869	0,917	0,971	1,031	1,100
5	0,924	0,975	1,032	1,096	1,169
6	0,981	1,035	1,096	1,164	1,241
7	1,041	1,099	1,163	1,236	1,317
8	1,105	1,166	1,234	1,311	1,398
9	1,172	1,236	1,309	1,390	1,482
10	1,242	1,310	1,387	1,473	1,571
11	1,315	1,388	1,469	1,560	1,664
12	1,393	1,470	1,556	1,652	1,762
13	1,474	1,555	1,646	1,748	1,864
14	1,559	1,645	1,741	1,849	1,972
15	1,648	1,739	1,841	1,955	2,085
16	1,742	1,838	1,946	2,066	2,203
17	1,840	1,942	2,055	2,183	2,327
18	1,943	2,050	2,170	2,305	2,457
19	2,050	2,164	2,290	2,432	2,594
20	2,163	2,282	2,416	2,566	2,736
21	2,281	2,407	2,548	2,706	2,885
22	2,404	2,537	2,685	2,852	3,041
23	2,533	2,673	2,829	3,005	3,204
24	2,668	2,815	2,980	3,165	3,375
25	2,809	2,964	3,137	3,332	3,553
26	2,956	3,119	3,302	3,507	3,739
27	3,109	3,281	3,473	3,689	3,933
28	3,270	3,451	3,652	3,879	4,136
29	3,437	3,627	3,839	4,078	4,348



# Medida da Evapotranspiração potencial - Penman

$$ET_o = \frac{1}{59} \times \frac{\frac{\Delta}{y} \times Rn + Ea}{\frac{\Delta}{y} + 1}$$

$$Rn = 129,4 \text{ cal. cm}^{-2}$$

$$Ea = 89,44 \text{ cal. cm}^{-2}$$

$$\Delta/y = 1,77$$

$$ET_o = \frac{1}{59} \times \frac{1,77 \times 129,4 + 89,44}{1,77 + 1}$$

$$ET_o = 0.016949153 \times \frac{318.478}{2,77}$$

$$ET_o = 0.016949153 \times 114.9740072$$

$$ET_o = 1,949 \text{ mm. dia}^{-1}$$





# Medida da Evapotranspiração da cultura - Penman

$$ET_o = 1,949 \text{ mm. dia}^{-1}$$

$$K_c = 1,15$$

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

$$ET_c = 1,949 \times 1,15$$

$$ET_c = 2,24 \text{ mm. dia}^{-1}$$

Quadro 2. Valores para coeficiente de cultura

Cultura	II	III	IV	Cultura	II	III	IV
Algodão	0,45	1,15	0,65	Milho	0,45	1,15	0,60
Aveia	0,45	1,15	0,20	Soja	0,45	1,10	0,45
Batata	0,70	1,15	0,75	Sorgo	0,45	1,10	0,55
Feijão	0,45	1,15	0,25	Tomate	0,80	1,20	0,65
Melão	0,70	1,15	0,75	Trigo	0,45	1,15	0,20



# Muito obrigado pela atenção!

**“O esforço sem talento  
vence o talento sem  
esforço. Porém, o talento  
com esforço vence tudo”**

Professor: Antonio Henrique Cordeiro Ramalho



E-mail principal: [antonio.ramalho@ufopa.edu.br](mailto:antonio.ramalho@ufopa.edu.br)



E-mail secundário: [henriqueramalho@gmail.com](mailto:henriqueramalho@gmail.com)



Telefone/Whatsapp: (94) 9167-1066

