

LISTA DE EXERCÍCIOS - QUESTÃO Nº 2 - PÁGINA Nº 1 / 5
AULA 4 - USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS: IRRIGAÇÃO, ANIMAL E INDUSTRIAL

2) Utilizar os dados tabelados na bacia hidrográfica do riacho Gameleira e determinar a evapotranspiração de referência - ETo ($mm\ dia^{-1}$) pelo modelo Penman-Monteith (PM-FAO56). Também, determinar a demanda hídrica de irrigação ($m^3\ s^{-1}$), considerando: área irrigada (5.200 ha), precipitação mensal de janeiro (78 mm) e altitude do local (170 m). Adotar coeficiente de cultura (1,15); eficiência do método de irrigação (0,60); fator de práticas agrícolas (0,75) e coeficiente de molhamento (0,90).

Temperatura do ar mínima diária: 23,81 °C	Radiação solar incidente (R_s): 9,62 $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$
Temperatura do ar máxima diária: 31,30 °C	Latitude: 09° 20min Sul
Umidade Relativa do ar mínima diária: 49,24%	Dia juliano: 10 (10 de janeiro)
Umidade Relativa do ar máxima diária: 90,90%	Velocidade do vento a 2,00 m: 0,90 $m\ s^{-1}$

A) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (PM-FAO56) - $mm\ dia^{-1}$

1) PRESSÃO ATMOSFÉRICA (P_{atm}) - kPa

$$P_{contm} = 101,30 \left(\frac{293 - 0,0065 Z}{293} \right)^{5,26}$$

$$P_{atm} = 101,30 \left(\frac{293 - 0,0065 \times 170}{293} \right)^{5,26} \Rightarrow P_{atm} = 99,31\ kPa$$

2) CONSTANTE PSICROMÉTRICA (ψ) - $kPa\ ^\circ C^{-1}$

$$\psi = 0,665 \times 10^{-3} \times P_{atm} \quad \left\{ \begin{array}{l} \psi = \text{GAMA} \end{array} \right.$$

$$\psi = 0,665 \times 10^{-3} \times 99,31 \Rightarrow \psi = 0,07\ kPa\ ^\circ C^{-1}$$

3) DECLIVIDADE DA CURVA DE PRESSÃO DE VAPOR NA SATURAÇÃO (Δ) - $kPa\ ^\circ C^{-1}$

$$\Delta = \frac{4.098\ e_s}{(T_{med} + 237,3)^2}$$

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

$$e_s = \frac{e_s(T_{max}) + e_s(T_{min})}{2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} e_s(T_{max}) = 0,6108 \exp \frac{17,27 T_{max}}{T_{max} + 237,3} \\ e_s(T_{min}) = 0,6108 \exp \frac{17,27 T_{min}}{T_{min} + 237,3} \end{array} \right.$$

LISTA DE EXERCÍCIOS - QUESTÃO Nº 2 - PÁGINA Nº 2 / 5
AULA 4 - USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS: IRRIGAÇÃO, ANIMAL E INDUSTRIAL

3) DECLIVIDADE DA CURVA DE PRESSÃO DE VAPOR NA SATURAÇÃO - Δ - ($\text{KPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)

$$e_{s(t_{\text{MAX}})} = 0,6108 \exp \frac{17,27 T_{\text{MAX}}}{T_{\text{MAX}} + 237,3} \quad \left\{ \begin{array}{l} \cdot \exp = e^x \end{array} \right.$$

$$e_{s(t_{\text{MAX}})} = 0,6108 \exp \frac{17,27 \times 31,30}{31,30 + 237,3} \xrightarrow{2,01} e_{s(t_{\text{MAX}})} = 4,56 \text{ KPa}$$

$$e_{s(t_{\text{MIN}})} = 0,6108 \exp \frac{17,27 T_{\text{MIN}}}{T_{\text{MIN}} + 237,3}$$

$$e_{s(t_{\text{MIN}})} = 0,6108 \exp \frac{17,27 \times 23,81}{23,81 + 237,3} \xrightarrow{1,57} e_{s(t_{\text{MIN}})} = 2,94 \text{ KPa}$$

$$e_s = \frac{e_{s(t_{\text{MAX}})} + e_{s(t_{\text{MIN}})}}{2} = \frac{4,56 + 2,94}{2} \Rightarrow e_s = 3,75 \text{ KPa}$$

$$T_{\text{MED}} = \frac{T_{\text{MAX}} + T_{\text{MIN}}}{2} = \frac{31,30 + 23,81}{2} \Rightarrow T_{\text{MED}} = 27,56 ^\circ\text{C}$$

$$\Delta = \frac{4,098 e_s}{(T_{\text{MED}} + 237,3)^2} = \frac{4,098 \times 3,75}{(27,56 + 237,3)^2} \Rightarrow \Delta = 0,22 \text{ KPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

DELTA

4) PRESSÃO DE VAPOR ATUAL - e_a - (KPa)

$$e_a = \frac{e_{s(t_{\text{MIN}})} \times \frac{UR_{\text{MAX}}}{100} + e_{s(t_{\text{MAX}})} \times \frac{UR_{\text{MIN}}}{100}}{2}$$

$$e_a = \frac{2,94 \times \frac{90,90}{100} + 4,56 \times \frac{49,24}{100}}{2}$$

$$e_a = 2,46 \text{ KPa}$$

LISTA DE EXERCÍCIOS - QUESTÃO Nº 2 - PÁGINA Nº 3 / 5
AULA 4 - USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS: IRRIGAÇÃO, ANIMAL E INDUSTRIAL

5) RADIAÇÃO SOLAR NO TOPO DA ATMOSFERA (R_a) - $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$

$$R_a = \frac{24 \times 60}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r \left[W_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) \right]$$

5.1) DECLIVIDADE SOLAR (δ) - RADIANS

$$\delta = 0,409 \sin \left(\frac{2\pi}{365} \cdot g - 1,39 \right) = 0,409 \sin \left(\frac{2 \times 3,14159}{365} \times 10 - 1,39 \right) \Rightarrow \delta = -0,38 \text{ rad.}$$

CALCULADORA = RADIANO (SETUP 4) $L = -1,22$ DELTA

5.2) ÂNGULO HORÁRIO DO PÔR DO SOL (ω_s) - RADIANS

$$\omega_s = \arccos \left[-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta) \right] \quad \begin{cases} \varphi = \text{Phi} = \text{LATITUDE EM RADIANS} \\ \delta = \text{DELTA} = \text{DECLIVIDADE SOLAR EM RADIANS} \end{cases}$$

LATITUDE LOCAL $\Rightarrow \varphi = 09^\circ 20' \text{ SUL}$

$$\left. \begin{array}{l} 1^\circ - 60'' \\ \varphi = 20' \end{array} \right\} \Rightarrow \varphi = 20 \div 60 = 0,33^\circ \Rightarrow \text{LOGO} \Rightarrow 0,33^\circ \text{ SUL}$$

$$\left. \begin{array}{l} \pi - 180^\circ \\ \varphi = 9,33^\circ \end{array} \right\} \Rightarrow \varphi = \frac{3,14159 \times 9,33}{180} \Rightarrow \varphi = -0,16 \text{ RAD.} \quad \text{LATITUDE SUL = NEGATIVO.}$$

$$\omega_s = \arccos \left[-\tan(-0,16) \cdot \tan(-0,38) \right] \Rightarrow \omega_s = 1,63 \text{ RAD.}$$

$L = -0,06$ OMEGA S

5.3) DISTÂNCIA RELATIVA TERRA-SOL (d_r) - RADIANS

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{2\pi}{365} \cdot g \right) = 1 + 0,033 \cos \left(\frac{2 \times 3,14159}{365} \cdot 10 \right) \Rightarrow d_r = 1,03 \text{ RAD.}$$

$L = 0,47$

5.4) RADIAÇÃO SOLAR NO TOPO DA ATMOSFERA (R_a) - $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$

$$R_a = \frac{24 \times 60}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r \left[W_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) \right]$$

$$R_a = \frac{24 \times 60}{3,14159} \cdot 0,0820 \cdot 1,03 \cdot \left[1,63 \sin(-0,16) \sin(-0,38) + \cos(-0,16) \cos(-0,38) \sin(1,63) \right]$$

$$R_a = 38,71 \times (0,10 + 0,92) \Rightarrow R_a = 39,48 \text{ MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$$

LISTA DE EXERCÍCIOS - QUESTÃO Nº 2 - PÁGINA Nº 4 / 5
AULA 4 - USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS: IRRIGAÇÃO, ANIMAL E INDUSTRIAL

6) SALDO DE RADIAÇÃO DE ONDAS CURTAS (R_{ms}) - $MJ m^{-2} dia^{-1}$

$$R_{ms} = (1 - \alpha) R_s = (1 - 0,23) \times 9,62 \Rightarrow R_{ms} = 7,40 MJ m^{-2} dia^{-1}$$

α = ALBEDO $\Rightarrow \alpha = 0,23$ (CONSIDERADO NO MODELO)

R_s = RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE $\Rightarrow R_s = 9,62 MJ m^{-2} dia^{-1}$ (DADO NA QUESTÃO).

7) RADIAÇÃO SOLAR EM DIAS DE CÉU CLARO (R_{so}) - $MJ m^{-2} dia^{-1}$

$$R_{so} = (a_s + b_s) R_n \Rightarrow a_s + b_s = 0,75 + 2 \times 10^{-5} Z$$

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} \times Z) \cdot R_n = (0,75 + 2 \times 10^{-5} \times 170) \times 39,48 \Rightarrow R_{so} = 29,74 MJ m^{-2} dia^{-1}$$

8) SALDO DE RADIAÇÃO DE ONDAS LONGAS (R_{ml}) - $MJ m^{-2} dia^{-1}$

$$R_{ml} = 6 \left(\frac{T_{MAX, KELVIN}^4 + T_{MIN, KELVIN}^4}{2} \right) \cdot (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \cdot \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right)$$

$$R_{ml} = 4,903 \times 10^9 \times \left(\frac{(31,3 + 273)^4 + (23,81 + 273)^4}{2} \right) \times (0,34 - 0,14 \sqrt{2,46}) \times \left(1,35 \frac{9,62}{29,74} - 0,35 \right)$$

$$R_{ml} = 40,05 \times 0,12 \times 0,09 \Rightarrow R_{ml} = 0,43 MJ m^{-2} dia^{-1}$$

9) SALDO DE RADIAÇÃO DE RADIAÇÃO LÍQUIDA - (R_m) - $MJ m^{-2} dia^{-1}$

$$R_m = R_{ms} - R_{ml} = 7,40 - 0,43 \Rightarrow R_m = 6,97 MJ m^{-2} dia^{-1}$$

10) MODELO PENMAN-MONTETH - $ET_o(PM-FAO)$ - $mm dia^{-1}$

$$ET_o(PM-FAO) = \frac{0,408 \Delta (R_m - G) + \gamma \frac{900}{(T_{med} + 273)} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

$$ET_o(PM-FAO) = \frac{0,408 \times 0,22 \times (6,97 - 0,0) + 0,07 \times \frac{900}{(27,56 + 273)} \times 0,90 \times (3,75 - 2,46)}{0,22 + 0,07 (1 + 0,34 \times 0,90)}$$

$$ET_o(PM-FAO) = \frac{0,63 + 0,24}{0,31} \Rightarrow ET_o(PM-FAO) = 2,81 mm dia^{-1}$$

LISTA DE EXERCÍCIOS - QUESTÃO Nº 2 - PÁGINA Nº 5 / 5
AULA 4 - USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS: IRRIGAÇÃO, ANIMAL E INDUSTRIAL

B) DEMANDA HÍDRICA DE IRRIGAÇÃO (Q) - m³ s⁻¹

- DADOS

- PRECIPITAÇÃO TOTAL $\Rightarrow P_t = 78, \text{ mm } \text{mês}^{-1}$
- EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA $\Rightarrow ET_0(\text{PM-FAO}) = 2,81 \text{ mm dia}^{-1}$
- COEFICIENTE DE CULTURA $\Rightarrow K_c = 1,15$
- COEFICIENTE DE MOLHAMENTO $\Rightarrow K_s = 0,90$
- EFICIÊNCIA DO MÉTODO DE IRRIGAÇÃO $\Rightarrow E_f = 0,60$
- FATOR DE PRÁTICAS AGRÍCOLAS $\Rightarrow \alpha = 0,75$
- ÁREA IRRIGADA $\Rightarrow AI = 5.200 \text{ ha}$

1) PRECIPITAÇÃO EFETIVA (P_{ef}) - mm mês⁻¹ (P_t < 250, mm mês⁻¹)

$$P_{ef} = \frac{P_t (125 - 0,2 P_t)}{125} \quad . P_t = \text{PRECIPITAÇÃO TOTAL} \Rightarrow P_t = 78, \text{ mm } \text{mês}^{-1}$$

$$P_{ef} = \frac{78, (125 - 0,2 \times 78)}{125} \Rightarrow P_{ef} = 68,27 \text{ mm } \text{mês}^{-1}$$

2) EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA (ET_c) - mm mês⁻¹

$$ET_c = ET_0 \times K_c \times K_s = 2,81 \times 1,15 \times 0,90 \Rightarrow 2,91 \times 31 \text{ DIAS} \Rightarrow ET_c = 90,21 \text{ mm } \text{mês}^{-1}$$

3) DEMANDA HÍDRICA DE IRRIGAÇÃO (Q) - m³ s⁻¹

$$Q = \sum_{i=1}^n AI_i \left(\frac{ET_c - P_{ef}}{E_f \times 86,4 \times d} \right) \cdot \alpha \quad \left\{ \begin{array}{l} \cdot AI = 5.200, \text{ ha} \Rightarrow 52, \text{ km}^2 \\ \cdot 1 \text{ ha} = 10.000, \text{ m}^2 = 0,01 \text{ km}^2 \end{array} \right.$$

$$Q = 52, \left(\frac{90,21 - 68,27}{0,60 \times 86,4 \times 31 \text{ dias}} \right) \times 0,75 \Rightarrow Q = 0,53 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$