

Evapora??o

May 15, 2019

1 Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Sanamento - PP-GRHS

1.1 Hidrologia

Evaporação

Clebson Farias

1.2 Questão 1. Em 20 de maio de 2015, a estação meteorológica localizada no Aeroporto Zumbi dos Palmares em Rio Largo registrou as seguintes leituras: temperatura do ar de 17°C , umidade relativa de 83% e velocidade do vento de $0,9\text{m/s}$. Sabendo disso, determine a taxa de evaporação potencial pelo Método Aerodinâmico naquele dia.

1.2.1 Evaporação(Método Aerodinâmico)

```
[2]: temp_ar = 17  
umidade_r = 0.83  
veloc_vento = 0.9
```

Método Aerodinâmico

$$E = B(e_s e_a) \quad (1)$$

Onde:

- $E \rightarrow$ E = Evaporação (mm/dia);
- $B \rightarrow$ Parâmetro em que é introduzido o efeito do vento por expressões empíricas;
- $e_s \rightarrow$ Pressão de vapor saturado;
- $e_a \rightarrow$ Pressão de vapor do ar.

Parâmetro em que é introduzido o efeito do vento por expressões empíricas

$$B = \frac{0.102u}{[\ln(\frac{z_2}{z_1})]^2} \quad (2)$$

Onde:

- $B \rightarrow$ Parâmetro em que é introduzido o efeito do vento por expressões empíricas;

- u -> Velocidade do vento na altura z_2 (m/s);
- z_2 -> Altura da medição da velocidade do vento (geralmente é adotado 2 m a partir da superfície);
- z_1 -> Altura de rugosidade da superfície natural.

```
[3]: def tensao_vapor_saturado(temperatura, unidade_saida):
    """
    temperatura: Temperatura em °C
    unidade_saida: Unidade de Saída
    """
    A = {'mmHg': 4.58,
         'Pa': 610.8}

    return round(A[unidade_saida] * 10 ** (7.5 * temperatura / (237.3 +
    → temperatura)), 4)

pressao_sat = tensao_vapor_saturado(temp_ar, 'Pa')
print('Pressão de vapor saturado', pressao_sat, 'Pa')
```

Pressão de vapor saturado 1937.6501 Pa

```
[5]: def tensao_vapor_ar(umidade_relativa, tensao_vapor_sat):
    return round(umidade_relativa * tensao_vapor_sat, 4)

pressao_ar = tensao_vapor_ar(umidade_r, pressao_sat)
print('Pressão de vapor parcial: ', pressao_ar, 'Pa')
```

Pressão de vapor parcial: 1608.2496 Pa

```
[10]: import math

altura_medicao_vento = 2
altura_rugo_superficie = 0.02

def parametro_efeito(velocidade_vento, altura_medicao_vento,
    → altura_rugo_superficie):
    b = (0.102 * velocidade_vento) / (math.log(altura_medicao_vento /
    → altura_rugo_superficie) ** 2)
    return round(b, 4)

def evaporacao_aerod(pressao_sat, pressao_ar, velocidade_vento,
    → altura_medicao_vento, altura_rugo_superficie):
    e = parametro_efeito(velocidade_vento, altura_medicao_vento,
    → altura_rugo_superficie) * (pressao_sat - pressao_ar)
    return round(e, 4)
```

```

evaporacao = evaporacao_aerod(pressao_sat, pressao_ar, veloc_vento,
    altura_medicao_vento, altura_rugo_superficie)
print('Evaporação: ', evaporacao, 'mm/dia')

```

Evaporação: 1.4164 mm/dia

1.3 Questão 2. No exemplo resolvido em sala de aula, calculamos a evaporação potencial pelo Balanço de Energia a partir de um valor de radiação média diária de $52W/m^2$ e temperatura do ar de $17^\circ C$. Use a Equação de Penman para determinar a evaporação potencial considerando que ambos os fatores aerodinâmico e energético foram importantes para definir o total evaporado naquele dia.

```

[34]: radiacao_m = 52
      temp_ar = 17

```

1.3.1 Evaporação (Equação de Penman)

Equação de Penman

$$E = \left[\left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) E_r + \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) E_a \right] \quad (3)$$

Onde:

- E -> Evaporação (mm/dia);
- E_r -> Evaporação calculada pelo método do balanço de energia (mm/dia);
- E_a -> Evaporação calculada pelo método aerodinâmico (mm/dia);
- Δ -> Gradiente da curva de pressão de saturação de vapor (Pa/°C);
- γ -> Constante psicrométrica (66,8 Pa/°C);

```

[45]: def evaporacao_pen(evap_energia, evap_aero, grad_pressao_sat,
    cons_psicrometrica):
    e1 = (grad_pressao_sat / (grad_pressao_sat + cons_psicrometrica)) *
    evap_energia
    e2 = (cons_psicrometrica / (grad_pressao_sat + cons_psicrometrica)) *
    evap_aero
    return round(e1 + e2, 4)

```

Gradiente da curva de pressão de saturação de vapor

$$\Delta = \frac{4098e_s}{(237,3 + T)^2} \quad (4)$$

Onde:

- Δ -> Gradiente da curva de pressão de saturação de vapor (Pa/°C);
- T -> Temperatura (°C);
- e_s -> Pressão de vapor saturado (Pa);

```
[46]: def grad_pressao_vapor(pressao_vapor_sat, temperatura):
    delta = (4098 * pressao_vapor_sat)/((237.3 + temperatura) * 2)
    return round(delta, 4)
```

Evaporação calculada pelo método do balanço de energia

$$E = \frac{\lambda_u}{\rho_{H_2O} I_u} \quad (5)$$

Onde:

- E -> Evaporação (m/s)
- λ_u -> Radiação líquida (w/m^2);
- I_u -> Calor latente de vaporização (J/Kg);
- ρ_{H_2O} -> Densidade de água (kg/m^3);

```
[51]: def evaporação_bal(radiacao_liq, calor_latente, densidade_agua):
    e = (86.4 * 10 ** 6) * (radiacao_liq/(calor_latente * densidade_agua))
    return round(e, 4)
```

Radiação líquida

$$I_u = 250110^3 - 2370T \quad (6)$$

Onde:

- I_u -> Calor latente de vaporização (J/Kg);
- T -> Temperatura (°C)

```
[52]: def calor_latente(temperatura):
    r = 2501 * 10 ** 3 - 2370 * temperatura
    return round(r, 4)
```

```
[54]: #Evaporação de método aerodinâmico
e_aero = evaporacao_aerod(pressao_sat, pressao_ar, veloc_vento,
    ↳ altura_medicao_vento, altura_rugo_superficie)
e_energia = evaporação_bal(radiacao_m, calor_latente(temp_ar), 999)
e_pen = evaporacao_pen(e_energia, e_aero, grad_pressao_vapor(pressao_sat,
    ↳ temp_ar), cons_psicrometrica=66.8)
print('Evaporação: ', e_pen, 'mm/dia')
```

Evaporação: 1.8258 mm/dia

```
[ ]:
```