

Hidrologia Física (ERHA7017)



Aula 09 - Evaporação e Evapotranspiração

Roteiro de Aula

- ✓ Definições Básicas
- ✓ Fatores intervenientes
- ✓ Medida da Evaporação
- ✓ Medida da Evapotranspiração
- ✓ Métodos de Avaliação da Evaporação
- ✓ Métodos de Avaliação da Evapotranspiração

Definições Básicas

Evaporação: conjunto dos fenômenos de natureza física que transformam em vapor a água da superfície do solo, dos cursos de água, lagos, reservatórios de acumulação e mares.

Transpiração: é a evaporação devida à ação fisiológica dos vegetais.

Evapotranspiração: é a soma das perdas por evaporação do solo e transpiração das plantas, que ocorrem em uma superfície com cobertura vegetal.

$$\text{Evapotranspiração} = \text{Evaporação} + \text{Transpiração}$$

Definições Básicas

**Evaporação e
Evapotranspiração**



**“perdas” de água na
bacia, diminuindo a
disponibilidade hídrica**

**Importância da estimativa da
evaporação/evapotranspiração**

- ✓ Planejamento agrícola;
- ✓ Construção e operação de reservatórios;
- ✓ Avaliação da disponibilidade hídrica de bacias, etc...

Definições Básicas

- Evapotranspiração **Real** (EVT_R): corresponde ao valor de evapotranspiração para as condições existentes de cobertura vegetal, umidade do solo e condições atmosféricas (condições “reais”).
- Evapotranspiração **Potencial** (EVT_P): corresponde ao valor da evapotranspiração de uma superfície extensa, coberta por vegetação e bem suprida de água (condições “ideais”).

$$EVT_R < EVT_P$$



Iguaçu: $EVT_P = 1120 \text{ mm}$; $EVT_R = 1050 \text{ mm}$
NE: $EVT_P > 2000 \text{ mm}$; $EVT_R = 800 \text{ mm}$

Fatores intervenientes na **Evaporação**

1. Radiação Solar
2. Temperatura do ar: $\uparrow T$ $\uparrow EV$
3. Vento
4. Umidade relativa do ar: $\uparrow \text{umidade}$ $\downarrow EV$
5. Umidade do solo: $\uparrow \text{umidade}$ $\uparrow EV$

Fatores intervenientes na **Evapotranspiração**

Além dos anteriores:

- **Tipo de vegetação:** diferentes vegetais exigem diferentes quantidades de água para desempenho de suas funções vitais;
- **Fase de crescimento da vegetação:** a necessidade de água varia com o estágio de crescimento da planta.

Medida da Evaporação – Evaporímetro de Piché

Mede diretamente a evaporação (medida direta).

Localização: dentro de um abrigo meteorológico.



Medida da Evaporação – Abrigo Meteorológico

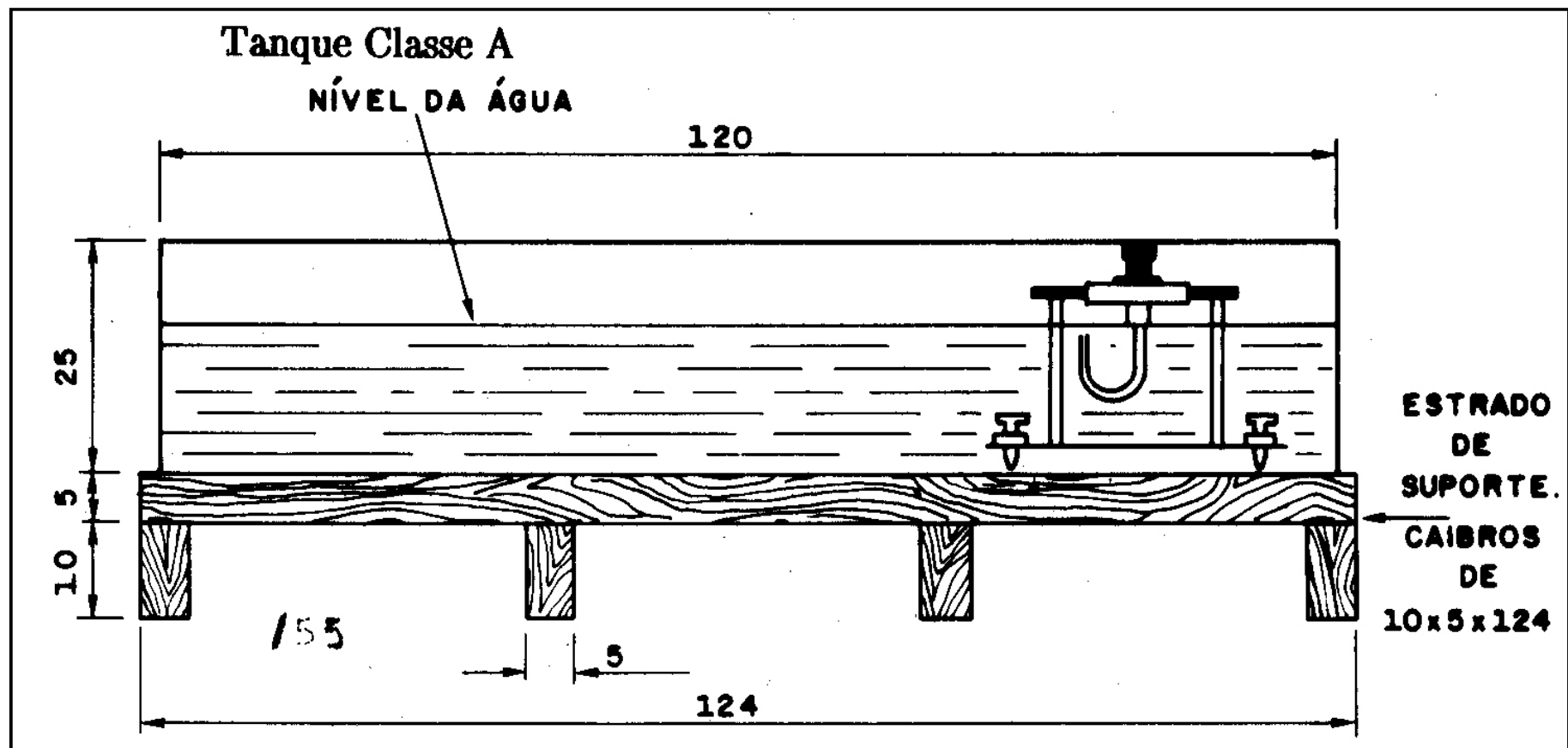


Medida da evaporação – Tanques evaporimétricos

- ✓ **Tanque Classe A:**
mais utilizado no
Brasil;
- ✓ Medida direta da
evaporação;
- ✓ Proteção contra
pássaros e animais.



Medida da evaporação – Tanques evaporimétricos



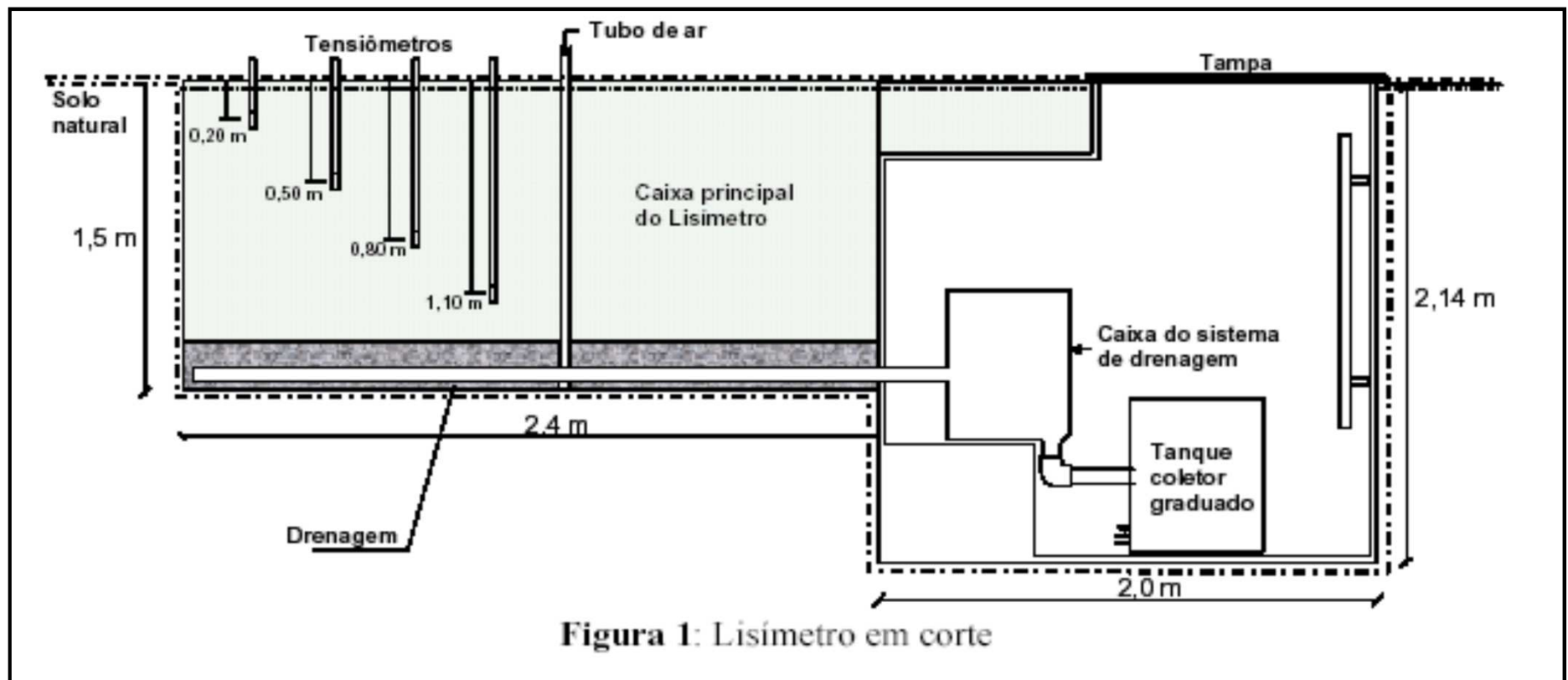
Medida da evaporação – Tanques evaporimétricos

$$EV_{\text{real}} = K \cdot EV_{\text{tanque}}$$

$$K < 1 \therefore K \cong 0,7$$

O fator K procura representar as diferenças entre as condições naturais em lagos e reservatórios e as condições do tanque evaporimétrico.

Medida da evapotranspiração – Lisímetros (Medida indireta)



Obs: usa o conceito de balanço hídrico

Métodos de Avaliação da Evaporação

- ✓ Método do balanço hídrico
- ✓ Método de balanço de energia
- ✓ Métodos de transferência de massa
- ✓ Métodos combinados
- ✓ Fórmulas empíricas
- ✓ Medidas diretas de evaporação

(ver material de apoio)

Métodos de Avaliação da Evapotranspiração

Métodos: ver material de apoio

- Método do balanço hídrico
- Método de Thornthwaite (*muito difundido no Brasil*)
- Método de Penman-Monteith

MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO

Avaliação da Evapotranspiração **Real**

- O método é baseado na equação do balanço hídrico simplificado aplicada ao período considerado:

$$EVT = P - D - \Delta S$$

onde:

EVT = evapotranspiração **real** (mm);

P = precipitação média sobre a bacia (mm);

D = volume escoado pelo exutório da bacia, expresso como uma lâmina de água distribuída uniformemente por toda a bacia (mm);

ΔS = variação do volume armazenado (mm).

MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO

Avaliação da Evapotranspiração **Real**

Exemplo Numérico:

Calcular as perdas anuais por evapotranspiração em uma bacia hidrográfica cuja vazão específica média de longo termo é 18 L/s/km^2 , sabendo-se que a precipitação média anual vale 1.100 mm .

MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO

Avaliação da Evapotranspiração **Real**

Solução:

a) Cálculo do Deflúvio (D)

$$q = 18 \frac{L/s}{km^2} = 18 \frac{L}{s \cdot km^2}$$

m/ano

m/ano para
mm/ano

$$D = 18 \frac{10^{-3}}{\frac{1}{365,25 \times 86400} \times 10^6} \times 10^3 = \frac{18 \times 365,25 \times 86400}{10^6}$$

$$D = 568,0 \text{ mm/ano}$$

MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO

Avaliação da Evapotranspiração **Real**

Solução:

b) Cálculo da Evapotranspiração (EVT)

$$EVT = P - D - \Delta S$$

$$EVT = 1.100 - 568 - 0$$

$$EVT = 532,0 \text{ mm/ano}$$

MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO

Avaliação da Evapotranspiração **Real**

Solução:

b) Cálculo da Evapotranspiração (EVT)

$$EVT = P - D - \Delta S$$

$$EVT = 1.100 - 568 - 0$$

problema de
longo termo

$$EVT = 532,0 \text{ mm/ano}$$

MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO

Avaliação da Evapotranspiração **Real**

Em termos médios:

Precipitação

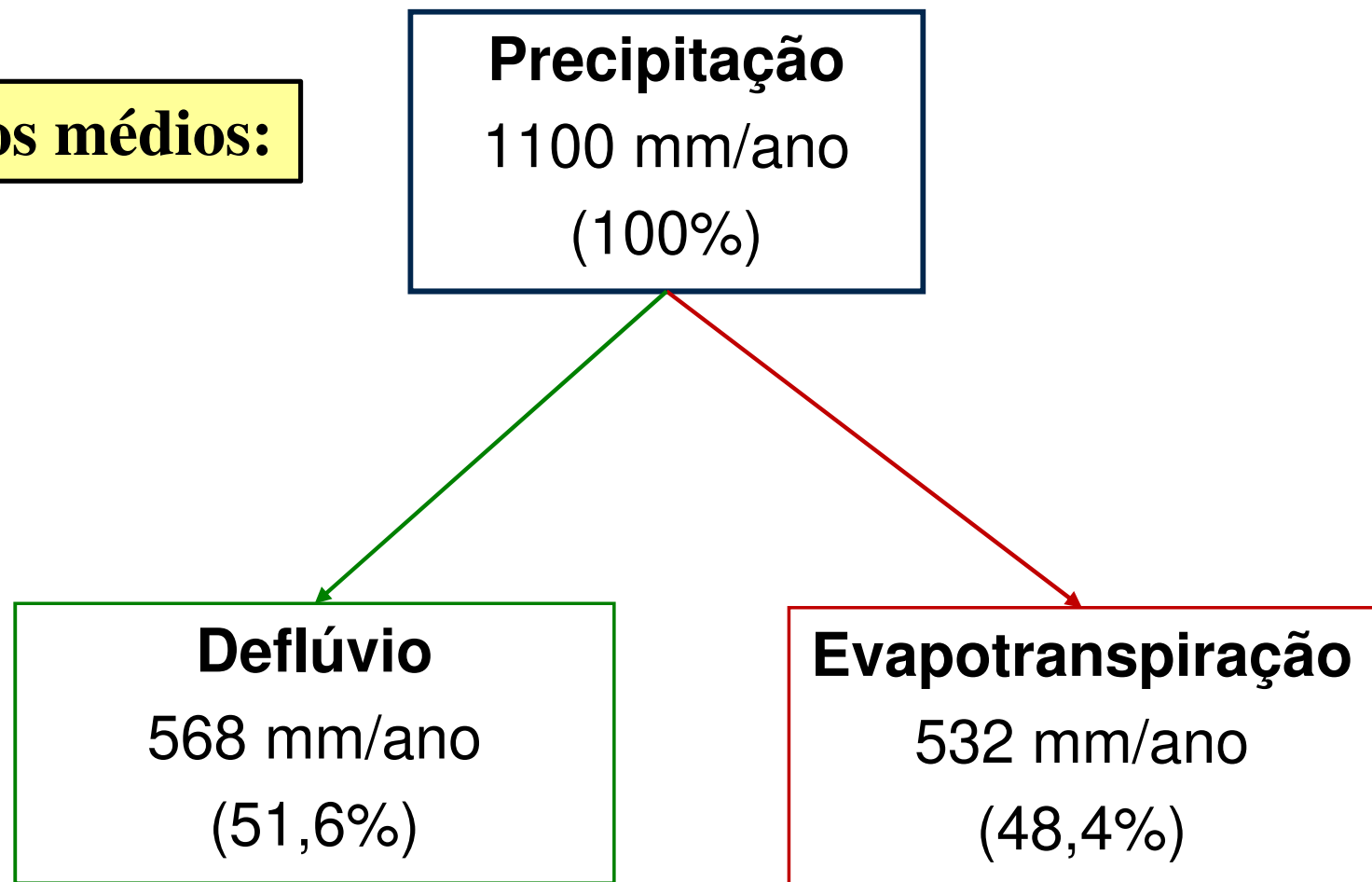
1100 mm/ano
(100%)

Deflúvio

568 mm/ano
(51,6%)

Evapotranspiração

532 mm/ano
(48,4%)



MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO

Avaliação da Evapotranspiração **Real**

Observações:

- ✓ Avalia a evapotranspiração **real** de uma bacia hidrográfica para um período de tempo relativamente longo.
- ✓ O método exige a instalação de diversos equipamentos (linígrafos, vertedores, pluviômetros, etc...) para a avaliação de todos os termos da equação do balanço hídrico simplificado.

MÉTODO DE THORNTHWAITE

Avaliação da Evapotranspiração **Potencial**

$$EVT_p = 16,2 \left(\frac{10T}{I} \right)^a F_c$$

onde: EVT_p = evapotranspiração potencial mensal (mm);

T = temperatura média mensal (°C);

I = índice anual de calor;

a = expoente = $f(I)$;

F_c = fator de correção.

MÉTODO DE THORNTHWAITE

Avaliação da Evapotranspiração **Potencial**

Índice anual de calor (I):

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1,514}$$

onde: T_i = temperatura média do mês i (°C).

Expoente a:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 0,0179 I + 0,492$$

MÉTODO DE THORNTHWAITE

Avaliação da Evapotranspiração **Potencial**

Fator de correção para o mês considerado (F_c):

$$F_c = \frac{ND}{30} \frac{N}{12} \quad (0,78 < F_c < 1,29)$$

onde: **ND** = número de dias do mês;

N = número de horas do “*dia*” = f (latitude, época do ano).

“*dia*” = intervalo de tempo entre o nascer e o por do Sol.

Obs: Em geral, utiliza-se o 15º dia do mês para o cálculo de N.

MÉTODO DE THORNTHWAITE

Avaliação da Evapotranspiração **Potencial**

- ✓ Avalia a evapotranspiração **potencial** de uma bacia hidrográfica.
- ✓ O método avalia de modo indireto a evapotranspiração já que utiliza dados de temperatura e número de horas do “*dia*” para a avaliação da evapotranspiração potencial.

número de horas do “*dia*” = intervalo de tempo entre o nascer do Sol e o por do Sol = $f(\text{latitude}, \text{estação do ano})$.

MÉTODO DE THORNTHWAITE

Exemplo Numérico

Tendo em vista as informações a seguir (temperaturas médias mensais e número de horas do dia médio de cada mês em Londrina/PR), calcular a **evapotranspiração potencial** para cada mês, usando as equações empíricas de Thornthwaite.

Mês	T(°C)	N(h)	Mês	T(°C)	N(h)
Janeiro	23,9	13,3	Julho	16,9	10,9
Fevereiro	23,5	12,7	Agosto	18,5	11,4
Março	22,4	11,6	Setembro	20,3	12,0
Abril	20,8	11,6	Outubro	20,8	12,7
Maio	17,0	11,0	Novembro	23,1	13,2
Junho	16,0	10,7	Dezembro	23,0	13,6

MÉTODO DE THORNTHWAITE

Exemplo Numérico

mês	T (°C)	N	ND	Fc	(Ti/5) ^{1,514}	EVT _p
jan	23,9	13,3	31	1,15	10,68	124,0
fev	23,5	12,7	28	0,99	10,41	103,0
mar	22,4	11,6	31	1,00	9,68	93,5
abr	20,8	11,6	30	0,97	8,66	76,7
mai	17,0	11,0	31	0,95	6,38	47,8
jun	16,0	10,7	30	0,89	5,82	39,3
jul	16,9	10,9	31	0,94	6,32	46,7
ago	18,5	11,4	31	0,98	7,25	59,9
set	20,3	12,0	30	1,00	8,34	75,1
out	20,8	12,7	31	1,09	8,66	86,7
nov	23,1	13,2	30	1,10	10,15	110,3
dez	23,0	13,6	31	1,17	10,08	116,3

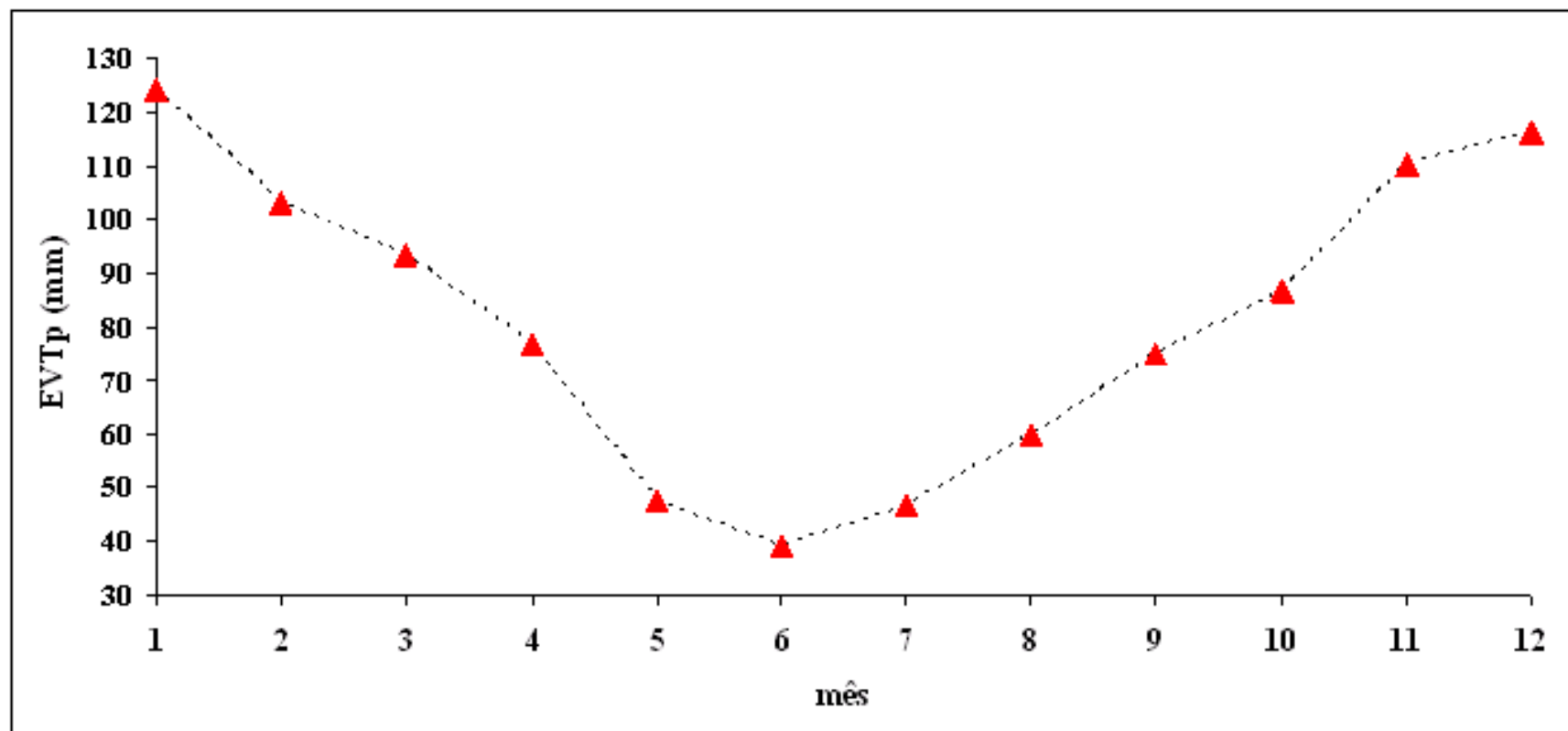
EVT_p (anual) = 979,3

I = 102,42

a = 2,242

MÉTODO DE THORNTHWAITE

Exemplo Numérico



Considerações Finais

- ✓ Os diferentes métodos podem apresentar resultados bastante diversos.
- ✓ Importância da observação de dados meteorológicos.
- ✓ No Paraná: $800 \text{ mm} < \text{EVT}_R \text{ anual} < 1100 \text{ mm}$.
- ✓ Para o Paraná, consultar o trabalho de Illich (1995).

Referências Bibliográficas

Illich, I. Métodos de avaliação da evaporação e evapotranspiração: análise comparativa para o estado do Paraná. Curitiba, 1995. 171 p.
Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Setor de Tecnologia – Centro de Hidráulica e Hidrologia
Prof. Parigot de Souza – Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná.