

PHA 3307
Hidrologia Aplicada

Universidade de São Paulo



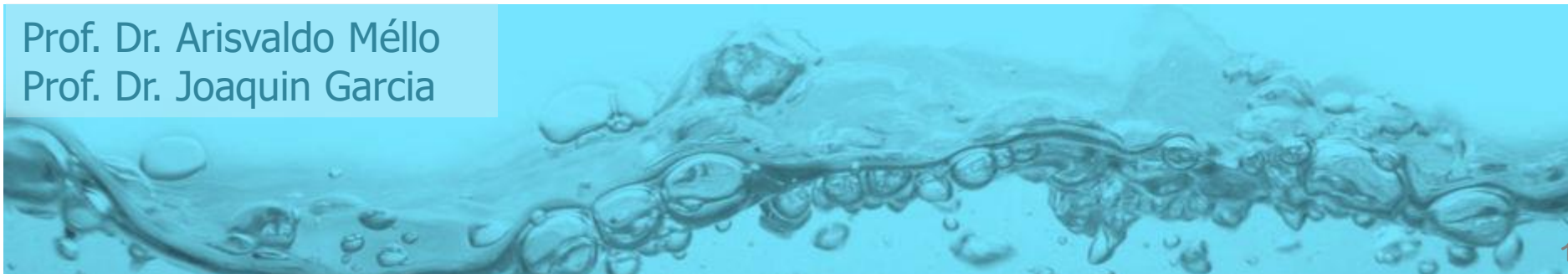
Escola Politécnica

Departamento de Engenharia Hidráulica
e Ambiental

Hidrograma Unitário Sintético

Aula 22 Parte 2 - 2

Prof. Dr. Arisvaldo Mélo
Prof. Dr. Joaquin Garcia

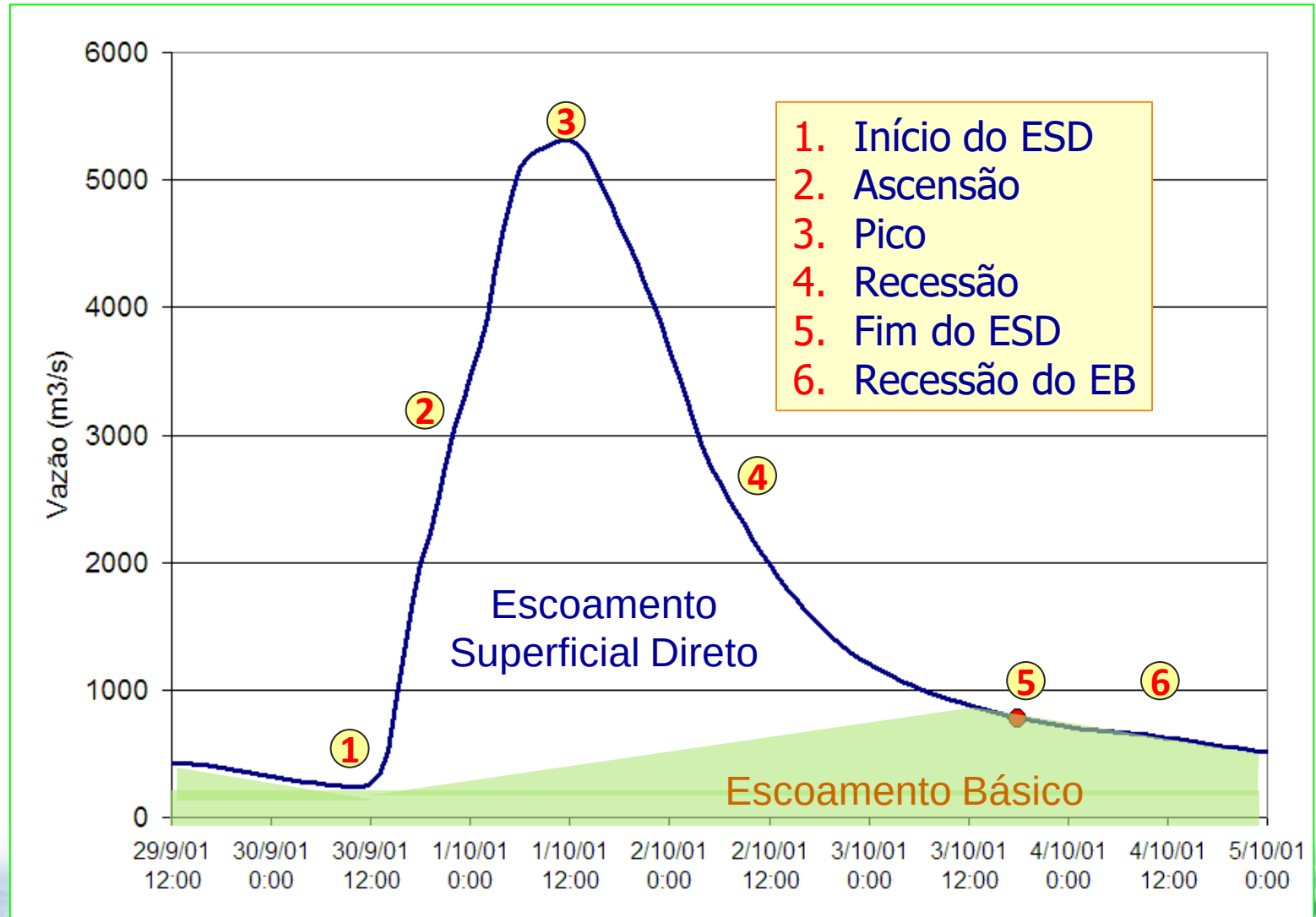


Objetivos da Aula

1. Conhecer o conceito de hidrograma unitário sintético.
2. Aprender e aplicar o hidrograma unitário sintético triangular.
3. Conhecer algumas fórmulas para o cálculo do tempo de concentração.



Hidrograma de escoamento Superficial Direto



HU, e se não tiver dados?

- Pode-se **estimar** e utilizar um **hidrograma unitário sintético** para regiões onde não há dados históricos.
- Como é feito: com a determinação de alguns de seus pontos característicos, como o tempo de pico, o tempo de base e a vazão de pico.
- A regionalização destas variáveis com base em características físicas permite estimar o HU para um local sem dados observados.
- Existem diversos métodos: SCS, Snyder, Santa Bárbara, HTA, Clark e outros...

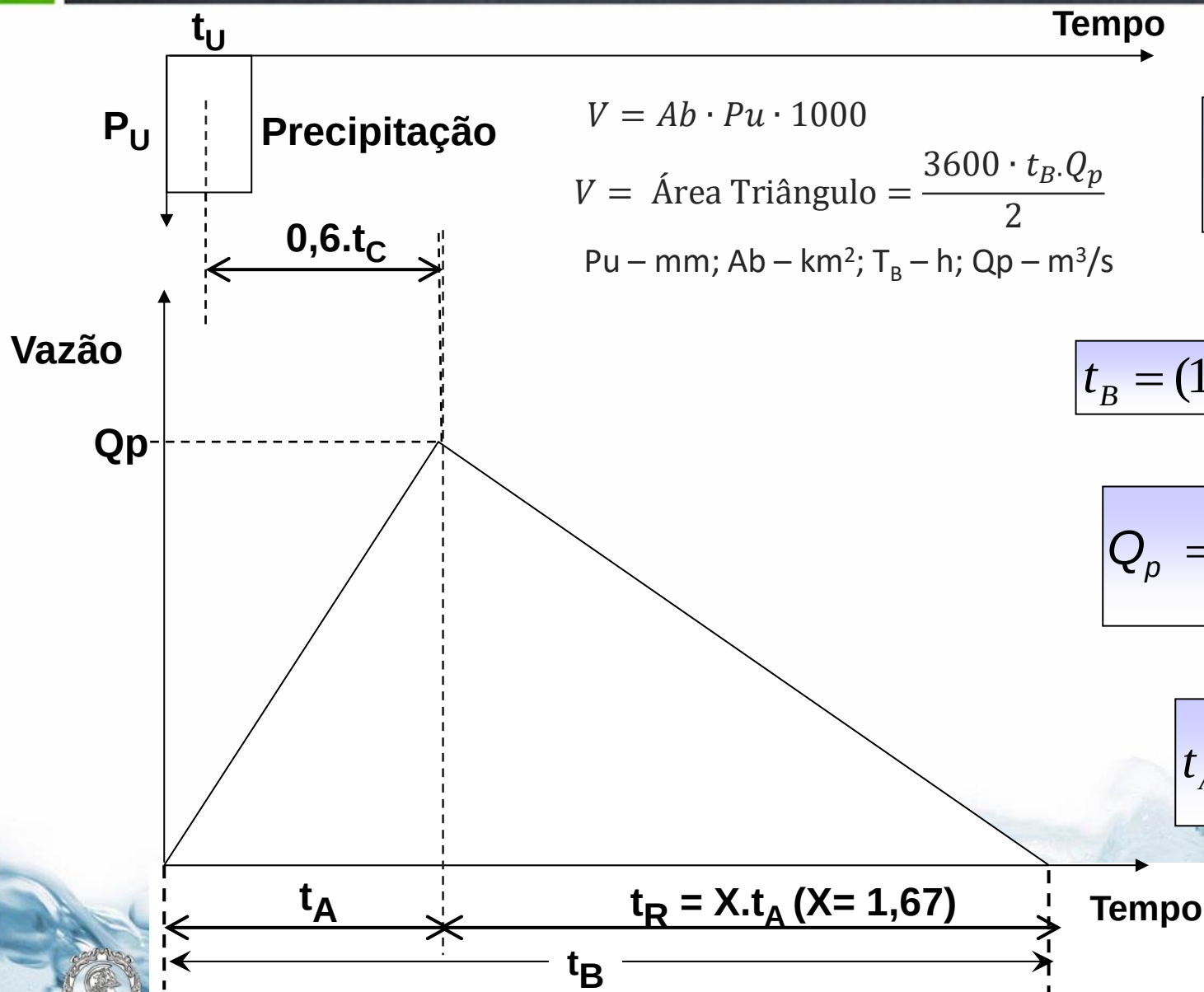


HU Sintético Triangular do SCS

- 1957: a partir de um estudo com um grande número de bacias e de hidrogramas unitários nos EUA, técnicos do SCS (*Soil Conservation Service*, hoje *Natural Resources Conservation Service*) verificaram que os hidrogramas unitários podem ser aproximados por relações de tempo e vazão estimadas com base no tempo de concentração e na área das bacias.
- E que o HU poderia ser aproximado por um triângulo!



HU Sintético Triangular do SCS



$$V = Ab \cdot P_u \cdot 1000$$

$$V = \text{Área Triângulo} = \frac{3600 \cdot t_B \cdot Q_p}{2}$$

P_u – mm; Ab – km²; T_B – h; Q_p – m³/s

$$Q_p = \frac{2 \cdot A_{\text{bacia}} \cdot P_U}{3,6 \cdot t_B}$$

$$t_B = (1 + X) \cdot t_A = 2,67 \cdot t_A$$

$$Q_p = \frac{0,75 \cdot A_{\text{bacia}} \cdot P_U}{3,6 \cdot t_A}$$

$$t_A = \frac{t_U}{2} + 0,6 \cdot t_C$$



HU Sintético Triangular do SCS

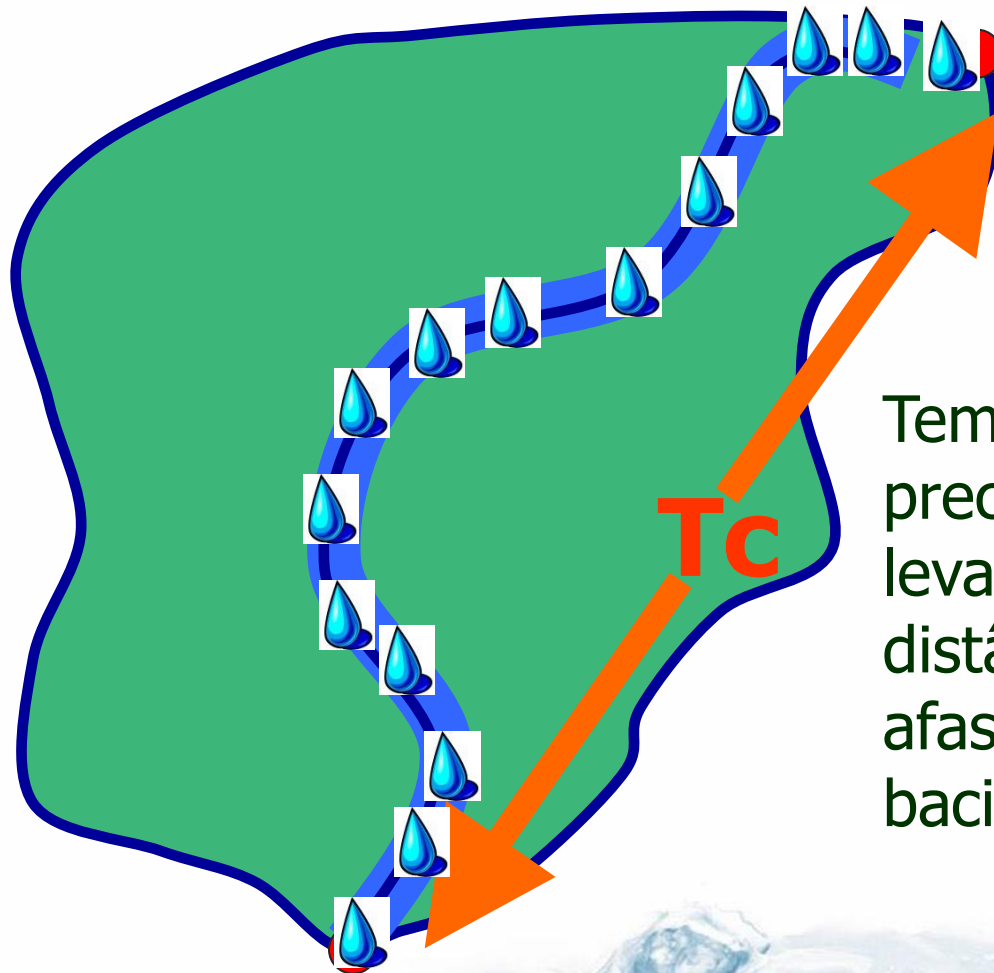
- A vazão de pico do hidrograma vale: $Q_p = \frac{0,75 \cdot A_{\text{bacia}} \cdot P_U}{3,6 \cdot t_A}$
- O tempo de pico vale: $t_A = \frac{t_U}{2} + 0,6 \cdot t_C$

onde:

- A: área da bacia hidrográfica (Km²)
- P_U: Altura da chuva unitária (mm)
- t_p: tempo de pico (h)
- t_U: Duração da chuva unitária (h)
- t_C: tempo de concentração da bacia (h)



Tempo de Concentração



Tempo que uma gota de precipitação excedente leva para percorrer a distância do ponto mais afastado até a saída da bacia.

Tempo de Concentração

- É o tempo necessário para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia escoe até o ponto de controle, exutório ou seção de medição da vazão
- Ou seja, é o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento
- O TC depende da forma da bacia e da rede de drenagem, da declividade do terreno e dos cursos d'água, tipo e uso do solo, obras hidráulicas, etc.
- Na falta de dados, existem diversas equações empíricas para estimar o TC nos trechos não canalizados: Kirpich, Califórnia Culverts Practice, FAA, SCS, método cinemático, Dooge, etc.



Fórmulas de Tempo de Concentração

☀ Dooge

$$t_c = 1,18 \cdot \left(\frac{A^{0,41}}{S^{0,17}} \right)$$

Onde

- t_c é o tempo de concentração (h);
- A é a área da bacia (km^2);
- S é a declividade do talvegue principal (m/km).

Foi determinada com dados de 10 bacias rurais com áreas na faixa de 140 a 930 Km^2 . É de se supor, portanto, que seus parâmetros reflitam melhor o comportamento de bacias médias e escoamento predominante em canais.

☀ Bransby -Willians

$$t_c = 76,86 \cdot \frac{L}{5280} \cdot \left(\frac{1}{A^{0,1} \cdot S^{0,2}} \right)$$

Onde

- t_c é o tempo de concentração (min);
- L é o comprimento do talvegue principal (m);
- S é a declividade do talvegue principal (m/m).



Fórmulas de Tempo de Concentração

✦ Kerby

$$t_c = 1,44 \cdot \left(\frac{L \cdot C}{S^{0,5}} \right)^{0,467}$$

Onde

- t_c é o tempo de concentração (min);
- L é o comprimento do talvegue principal (m);
- C é um coeficiente adimensional;
- S é a declividade do talvegue principal (m/m).



Fórmulas de Tempo de Concentração

☀ Kirpich I

$$t_c = 57 \cdot \frac{L^{1,155}}{h^{0,385}}$$

Onde

- t_c é o tempo de concentração (min);
- L é o comprimento do talvegue principal (km);
- h é o desnível entre os pontos extremos do talvegue principal (m).

- Foi obtida em pequenas bacias rurais com canais bem definidos e declividades altas. Espera-se que forneça bons resultados nestas condições.
- Canais bem definidos indicam que os escoamentos ao longo de seu curso prevalecem sobre os escoamentos superficiais e que as bacias não são muito pequenas ($A > 2,5 \text{ Km}^2$). Entretanto, à medida que o parâmetro L cresce, a velocidade média de escoamento atinge valores grandes e pouco realistas. Para uma declividade de 3 m/Km a velocidade chega a 3,12 m/s para um comprimento L de 100 Km.



Fórmulas de Tempo de Concentração

☀ Kirpich II

$$t_c = 57. \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}}$$

Onde

- t_c é o tempo de concentração (min);
- L é o comprimento do talvegue principal (km);
- S é a declividade do talvegue principal (m/km).



Fórmulas de Tempo de Concentração

☀ Onda Cinemática

$$t_c = 6,92 \cdot \left(\frac{n^{0,6} \cdot L^{0,6}}{I^{0,4} \cdot S^{0,3}} \right)$$

Onde

- t_c é o tempo de concentração (min);
- n é o coeficiente de rugosidade de Manning;
- L é o comprimento do talvegue principal (m);
- I é a intensidade média da chuva (mm/h);
- S é a declividade do talvegue principal (m/m).

- Essa equação foi deduzida a partir das equações de onda cinemática aplicada a superfícies, baseando-se na hipótese de precipitação constante igual ao tempo de concentração e na equação de Manning.
- É a solução teórica das equações que regem o escoamento turbulento em um plano e é de se esperar que funcione bem em pequenas bacias, uma vez que, neste caso, prevalece esse tipo de escoamento.
- A tendência é de que o valor do tempo de concentração seja superestimado, à medida que a bacia aumenta.



Fórmulas de Tempo de Concentração

✶ SCS

$$t_c = 3,42 \cdot \frac{L^{0,8}}{S^{0,5}} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$$

Onde

- t_c é o tempo de concentração (min);
- L é o comprimento do talvegue principal (km);
- S é a declividade do talvegue principal (m/m);
- CN é o número da curva de infiltração do SCS.

- Desenvolvido em bacias rurais com áreas de drenagem de até 8 Km².
- T_c é muito sensível ao valor de CN e, como este parâmetro é um indicador das condições da superfície do solo, a fórmula do SCS aplica-se a situações em que o escoamento em superfície é predominante. Para aplicação em bacias urbanas, o SCS sugere procedimentos para ajuste em função da área impermeabilizada e da parcela dos canais que sofreram modificações.
- Essa fórmula só apresenta resultados compatíveis com as outras para CN próximos de 100 e para valores de $L < 10$ Km, o que geralmente corresponde a bacias com área de drenagem inferiores a 15 Km².
- Essa fórmula superestima o valor do tempo de concentração em comparação com as expressões de Kirpich e Dooge e para valores baixos de CN .



Fórmulas de Tempo de Concentração

- As fórmulas existentes costumam apresentar resultados discrepantes entre si, porque foram determinadas em diferentes condições.
- É sempre preferível utilizar o método cinemático para os trechos canalizados da bacia porque as velocidades do escoamento dependem das características das obras.
- Na utilização de fórmulas, devem ser preferidas aquelas que foram especificamente determinadas para o caso em estudo e sobre as quais exista comprovada experiência.



Exemplo

- Área da bacia = 250 km²
- Declividade do talvegue principal = 5 m/km
- Precipitação de 1 mm em uma hora ($\Delta t_u = 1h$)

Fórmula de
Dooge

$$t_c = 1,18 \cdot \left(\frac{A^{0,41}}{S^{0,17}} \right)$$

$$t_c = 1,18 \cdot \left(\frac{250^{0,41}}{5^{0,17}} \right) = 8,63h$$

Cálculo do t_A

$$t_A = \frac{t_U}{2} + 0,6 \cdot t_C$$

$$t_A = \frac{1}{2} + 0,6 \cdot 8,63 = 5,68h$$

$$t_A \text{ adot} = 6h$$

Cálculo do t_B

$$t_B = 2,67 \cdot t_A$$

$$t_B = 2,67 \cdot 6 = 16,02h$$

$$t_B \text{ adot} = 16h$$

Cálculo da Q_p

$$Q_p = \frac{2 \cdot A_{\text{bacia}} \cdot P_U}{3,6 \cdot t_B}$$

$$Q_p = \frac{2 \cdot 250 \cdot 1}{3,6 \cdot 16} = 8,68 m^3 / s$$



Exercício

Obtenha um hidrograma de projeto pelo HU sintético triangular do SCS, para uma bacia de 10 Km² de área e tempo de concentração de 50 min. O período de retorno é 25 anos e a duração da chuva é de 30 min (discretize a cada 10 min). Utilize a equação IDF de São Paulo (Prof. Wilken). Obtenha o hietograma pelo método dos blocos alternados. Calcule a chuva excedente pelo método do SCS, adotando CN=80. Adote uma chuva unitária de 1 mm em 10 min.

Equação IDF:

$$i = \frac{57,7 \cdot T^{0,172}}{(t + 22)^{1,025}} \quad \text{com } i \text{ (mm/min) e } t \text{ (min)}$$

Método do SCS para cálculo da chuva excedente:

$$P_{excacum} = \frac{(P_{acum} - 0.2 * S)^2}{(P_{acum} + 0.8 * S)} \quad \text{para } P_{acum} > 0.2S \quad S = \frac{25 * (1000 - 10 * CN)}{CN}$$

Parâmetros do HUT-SCS:

$$t_A = \frac{t_U}{2} + 0,6 \cdot t_C \quad t_B = 2,67 \cdot t_A$$

$$Q_p = \frac{2 * A_{bacia} * P_U}{0.06 * t_B}$$

t_U, t_A, t_C, t_B em min ,
 P_U em mm, A em
km² e Q_p em m³/s



Exercício

S= mm

t_A = min

t_{Aadot} = min

t_B = min

t_{Badot} = min

Q_p = m³/s

T min	i mm/min	P mm	DP mm	Dpalt mm	Pac mm	Pexc acum mm	Pexc mm
10							
20							
30							

			Pef1	Pef2	
t	q_u				Q
min	m ³ /s		mm	mm	m ³ /s
0					
10					
20					
30					
40					
50					
60					
70					
80					
90					
100					
110					
120					



Aula 20

Fim

