

HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS

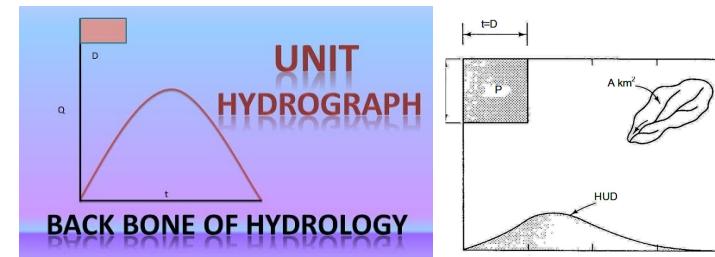


Fenómenos hidrológicos extremos

- Cheias em rios -
- Cálculo de hidrogramas de cheias
- Modelo do hidrograma unitário

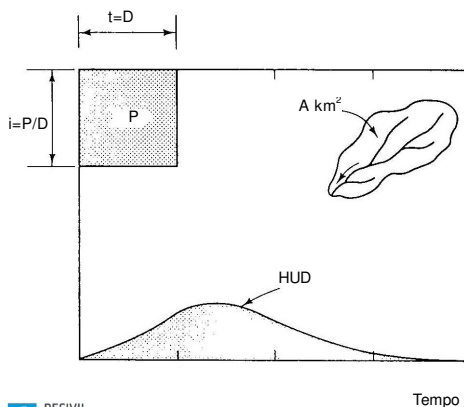
Métodos de avaliação de caudais e de hidrogramas de cheia

- Métodos estatísticos (✓) → Caudais de ponta de cheia
- Fórmulas empíricas (✓) → Caudais de ponta de cheia
- Modelo do hidrograma unitário (✓) → Caudais de ponta de cheia e hidrogramas de cheias



MODELO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO, HUD

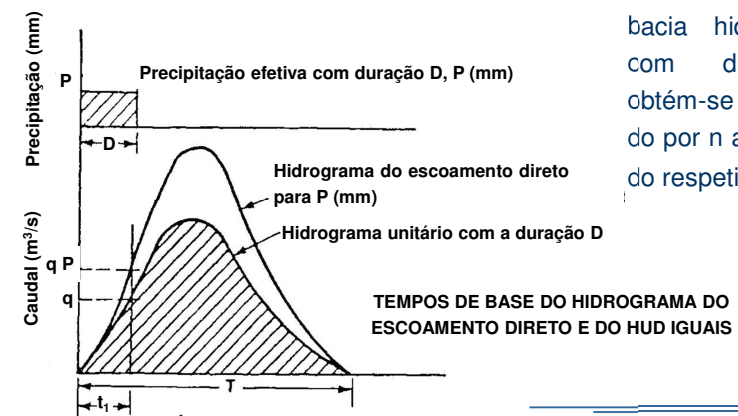
O modelo do HUD permite obter caudais de ponta de cheia e hidrogramas de cheia resultantes de precipitações efetivas com intensidade constante ou não ... variabilidade temporal da precipitação.



O hidrograma unitário para a duração D da precipitação efetiva, HUD, é o hidrograma do escoamento direto provocado numa secção de um curso de água por uma precipitação efetiva, considerada unitária, com intensidade constante no tempo e aproximadamente uniforme sobre toda a bacia hidrográfica e com duração D.

A aplicação da teoria do hidrograma unitário fundamenta-se em dois princípios:

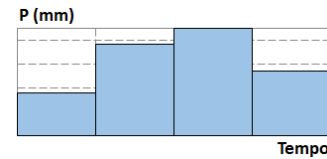
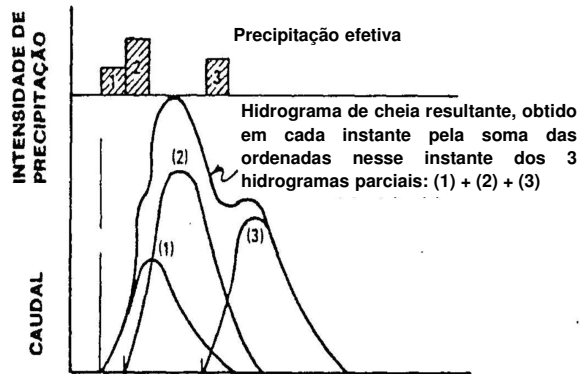
Princípio da proporcionalidade: o hidrograma do escoamento direto provocado numa dada secção de um curso de água por uma precipitação efetiva de n unidades, de intensidade constante no tempo e uniforme sobre a bacia hidrográfica e com duração D, obtém-se multiplicando por n as ordenadas do respetivo HUD.



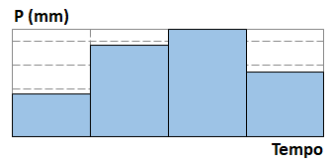
TEMPOS DE BASE DO HIDROGRAMA DO ESCOAMENTO DIRETO E DO HUD IGUAIS

A aplicação da teoria do hidrograma unitário fundamenta-se em dois princípios:

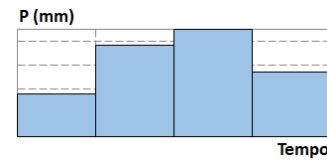
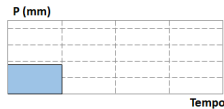
Princípio da sobreposição: o hidrograma do escoamento direto provocado numa secção de um curso de água pela sucessão de vários acontecimentos de precipitação efetiva, cada um com a mesma duração D e com intensidade constante e uniforme sobre a bacia hidrográfica, obtém-se pela sobreposição, com o devido desfasamento no tempo, dos hidrogramas que resultam, pelo princípio da proporcionalidade do HUD, daqueles sucessivos acontecimentos.



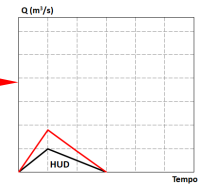
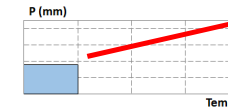
SENDO CONHECIDO O HIDROGRAMA UNITÁRIO, HUD, APLICÁVEL A UMA BACIA HIDROGRÁFICA



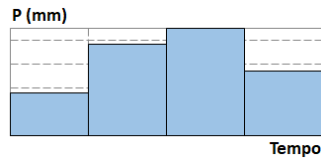
SENDO CONHECIDO O HIDROGRAMA UNITÁRIO, HUD, APLICÁVEL A UMA BACIA HIDROGRÁFICA



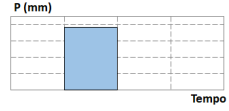
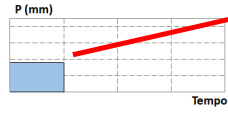
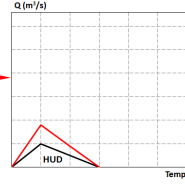
SENDO CONHECIDO O HIDROGRAMA UNITÁRIO, HUD, APLICÁVEL A UMA BACIA HIDROGRÁFICA



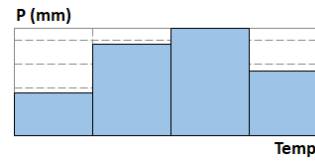
Cheias em rios



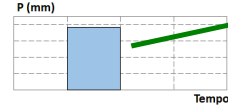
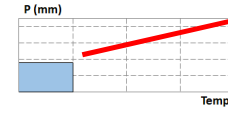
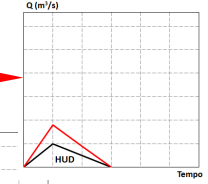
SENDO CONHECIDO O HIDROGRAMA UNITÁRIO, HUD, APLICÁVEL A UMA BACIA HIDROGRÁFICA



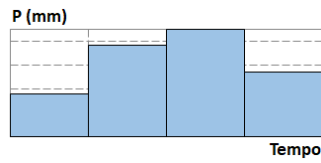
Cheias em rios



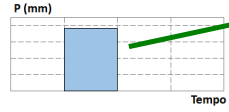
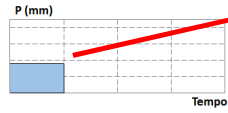
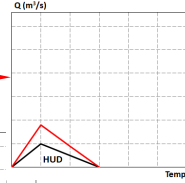
SENDO CONHECIDO O HIDROGRAMA UNITÁRIO, HUD, APLICÁVEL A UMA BACIA HIDROGRÁFICA



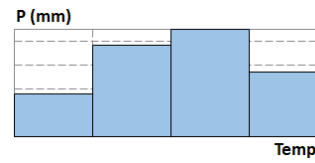
Cheias em rios



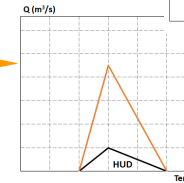
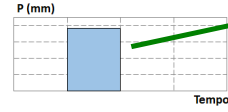
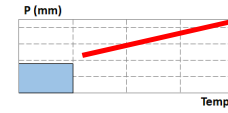
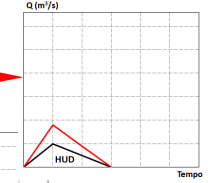
SENDO CONHECIDO O HIDROGRAMA UNITÁRIO, HUD, APLICÁVEL A UMA BACIA HIDROGRÁFICA



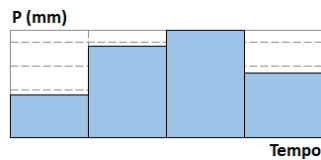
Cheias em rios



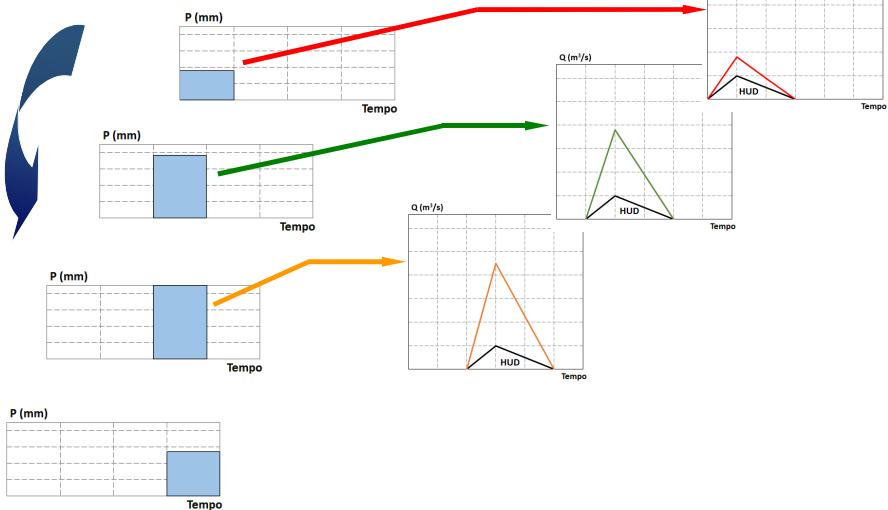
SENDO CONHECIDO O HIDROGRAMA UNITÁRIO, HUD, APLICÁVEL A UMA BACIA HIDROGRÁFICA



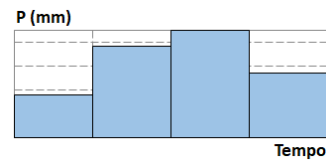
Cheias em rios



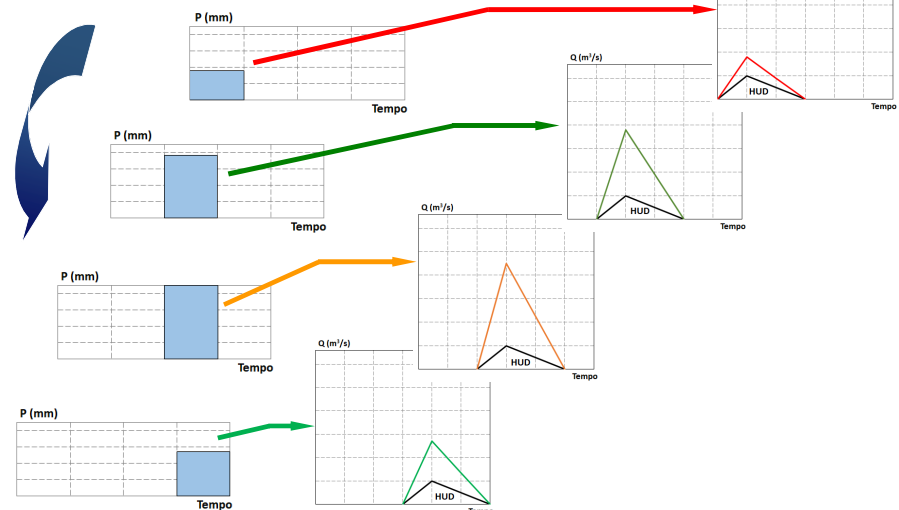
SENDO CONHECIDO O HIDROGRAMA UNITÁRIO, HUD, APLICÁVEL A UMA BACIA HIDROGRÁFICA



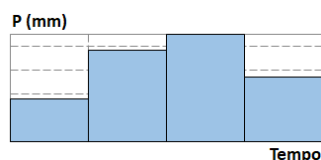
Cheias em rios



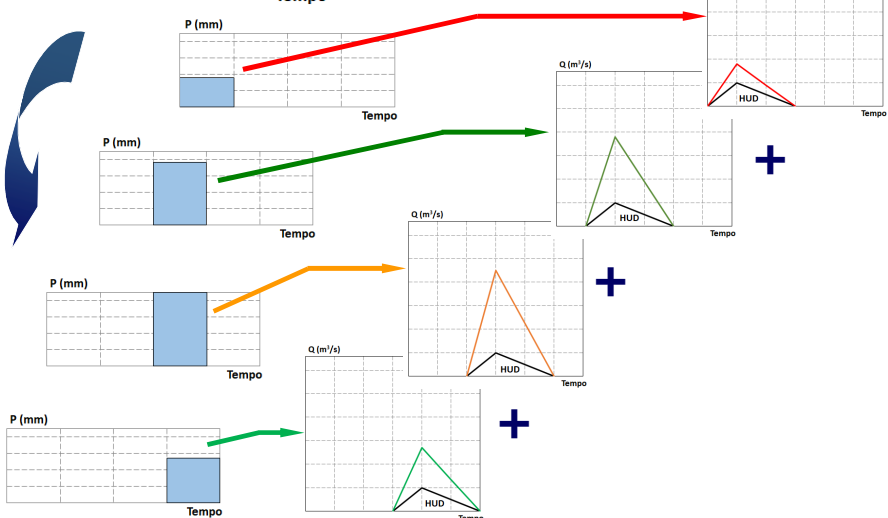
SENDO CONHECIDO O HIDROGRAMA UNITÁRIO, HUD, APLICÁVEL A UMA BACIA HIDROGRÁFICA



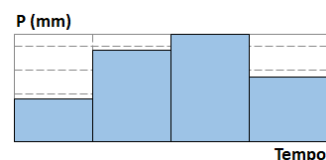
Cheias em rios



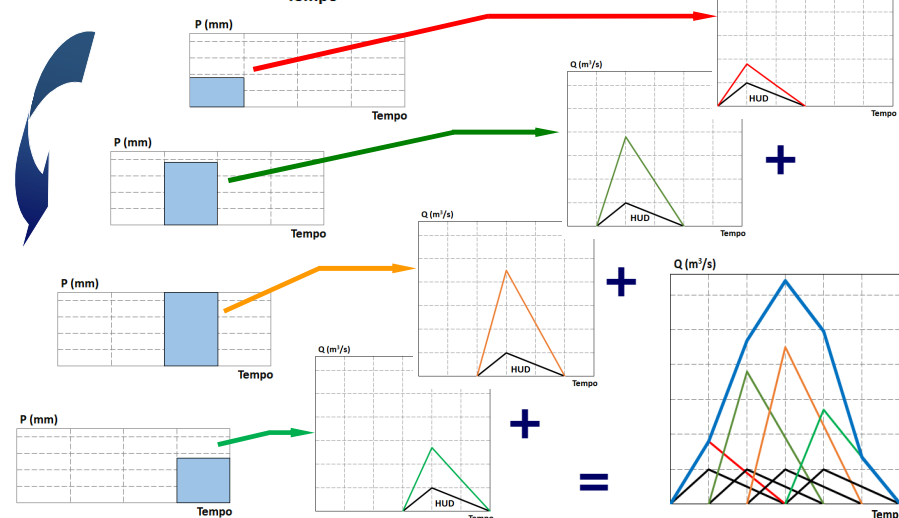
SENDO CONHECIDO O HIDROGRAMA UNITÁRIO, HUD, APLICÁVEL A UMA BACIA HIDROGRÁFICA

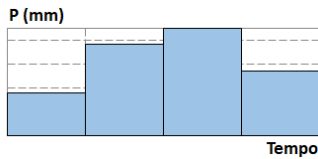


Cheias em rios

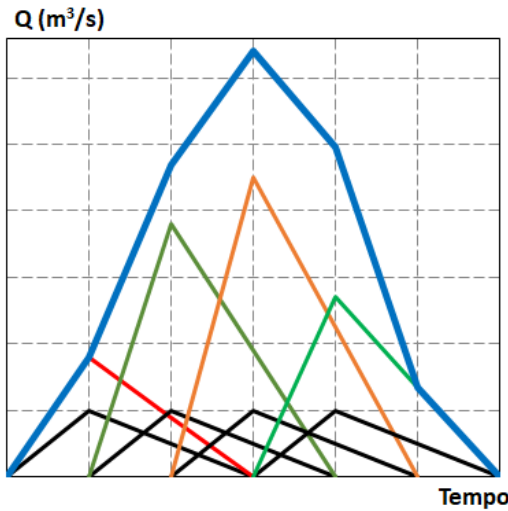
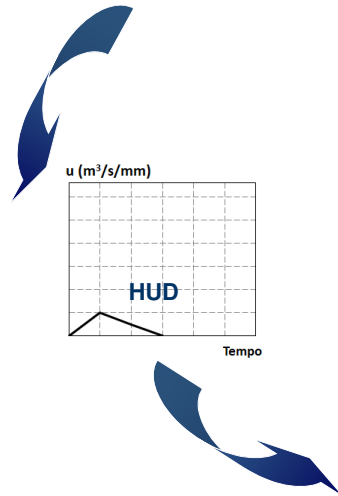


SENDO CONHECIDO O HIDROGRAMA UNITÁRIO, HUD, APLICÁVEL A UMA BACIA HIDROGRÁFICA





SENDO CONHECIDO O HIDROGRAMA UNITÁRIO, HUD, APLICÁVEL A UMA BACIA HIDROGRÁFICA

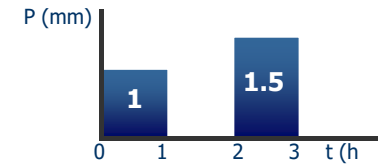


Supor que o hidrograma unitário para a precipitação efetiva unitária de 1 mm com e para a duração D=1 h, HUD, é dado pela seguinte tabela.

Tempo (h)	Caudal (m³/s/mm)
0	0
1	3
2	1
3	0

Calcular o hidrograma de cheia para a precipitação efetiva de:

- a) de 3 mm com a duração de 1 h;
- b) definida pelo hietograma da figura seguinte.



Cheias em rios – modelo do hidrograma unitário

Supor que o hidrograma unitário para a precipitação efetiva unitária de 1 mm com e para a duração D=1 h, HUD, é dado pela seguinte tabela.

Tempo (h)	Caudal (m³/s/mm)
0	0
1	3
2	1
3	0

Calcular o hidrograma de cheia para a precipitação efetiva de:

- a) de 3 mm com a duração de 1 h;
- b) definida pelo hietograma da figura seguinte.

Tempo		u (m³/s/mm)	Hidrogramas parcelares			Qp (m³/s)
Unidades de D	(min)		P=1.0 mm (m³/s)	P=0.0 mm (m³/s)	P=1.5 mm (m³/s)	
0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	60	3	3.0	0.0	0.0	3.0
2	120	1	1.0	0.0	0.0	1.0
3	180	0	0.0	0.0	4.5	4.5
4	240			0.0	1.5	1.5
5	300				0.0	0.0

Área da bacia hidrográfica:

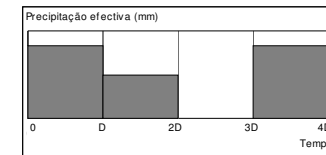
A partir do HUD

$$A = 3600 \times (3+1) / 0.001 / 1000000 = 14.4 \text{ km}^2$$

A partir do hidrograma de cheia resultante

$$A = 3600 \times (3.0 + 1.0 + 4.5 + 1.5) / (0.001 + 0.0015) / 1000000 = 14.4 \text{ km}^2$$

Intervalo de tempo	Precipitação efectiva
0 - D	P1
D - 2D	P2
2D - 3D	0
3D - 4D	P3



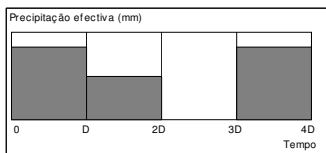
HUD para P=1 mm

Princípio da proporcionalidade

Princípio da sobreposição

Tempo (unidades de D)	Ordenadas HUD (m³/s/mm)	Caudais do hidrograma de cheia correspondente ao escoamento directo (m³/s)				
		Hidrogramas "parcelares"				Hidrograma de cheia na secção de referência da bacia hidrográfica (m³/s)
		P1 (mm)	P2 (mm)	0 (mm)	P3 (mm)	
0	0	0	--	--	--	0
1	u1	P1 u1	0	0	--	P1 u1
2	u2	P1 u2	P2 u1	0	--	P1 u2 + P2 u1
3	u3	P1 u3	P2 u2	0	0	P1 u3 + P2 u2
4	u4	P1 u4	P2 u3	0	P3 u1	P1 u4 + P2 u3 + P3 u1
5	u5	P1 u5	P2 u4	0	P3 u2	P1 u5 + P2 u4 + P3 u2
6	0	0	P2 u5	0	P3 u3	P2 u5 + P3 u3
7	0	0	0	0	P3 u4	P3 u4
8	0	0	0	0	P3 u5	P3 u5
9	0	0	0	0	0	0

Intervalo de tempo	Precipitação efectiva
0 - D	P1
D - 2D	P2
2D - 3D	0
3D - 4D	P3



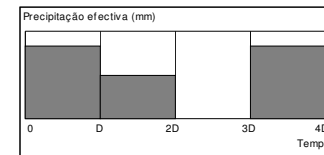
HUD para P mm

Princípio da proporcionalidade

Princípio da sobreposição

Tempo (unidades de D)	Ordenadas HUD (m³/s/P mm)	Caudais dos hidrogramas de cheia correspondentes ao escoamento directo (m³/s)				
		Hidrogramas "parcelares"			Hidrograma de cheia na secção de referência da bacia hidrográfica (m³/s)	
		P1 (mm)	P2 (mm)	P3 (mm)		
0	0	0	--	--	--	
1	u1	P1/P u1	0	--	--	P1/P u1
2	u2	P1/P u2	P2/P u1	0	--	P1/P u2 + P2/P u1
3	u3	P1/P u3	P2/P u2	0	0	P1/P u3 + P2/P u2
4	u4	P1/P u4	P2/P u3	0	P3/P u1	P1/P u4 + P2/P u3 + P3/P u1
5	u5	P1/P u5	P2/P u4	0	P3/P u2	P1/P u5 + P2/P u4 + P3/P u2
6	0	0	P2/P u5	0	P3/P u3	P2/P u5 + P3/P u3
7	0	0	0	0	P3/P u4	P3/P u4
8	0	0	0	0	P3/P u5	P3/P u5
9	0	0	0	0	0	0

Intervalo de tempo	Precipitação efectiva
0 - D	P1
D - 2D	P2
2D - 3D	0
3D - 4D	P3



Princípio da proporcionalidade

Princípio da sobreposição

Tempo (unidades de D)	Ordenadas HUD (m³/s/P mm)	Caudais dos hidrogramas de cheia correspondentes ao escoamento directo (m³/s)				
		Hidrogramas "parcelares"			Hidrograma de cheia na secção de referência da bacia hidrográfica (m³/s)	
		P1 (mm)	P2 (mm)	P3 (mm)		
0	0	0	--	--	--	
1	u1	P1/P u1	0	--	--	P1/P u1
2	u2	P1/P u2	P2/P u1	0	--	P1/P u2 + P2/P u1
3	u3	P1/P u3	P2/P u2	0	0	P1/P u3 + P2/P u2
4	u4	P1/P u4	P2/P u3	0	P3/P u1	P1/P u4 + P2/P u3 + P3/P u1
5	u5	P1/P u5	P2/P u4	0	P3/P u2	P1/P u5 + P2/P u4 + P3/P u2
6	0	0	P2/P u5	0	P3/P u3	P2/P u5 + P3/P u3
7	0	0	0	0	P3/P u4	P3/P u4
8	0	0	0	0	P3/P u5	P3/P u5
9	0	0	0	0	0	0

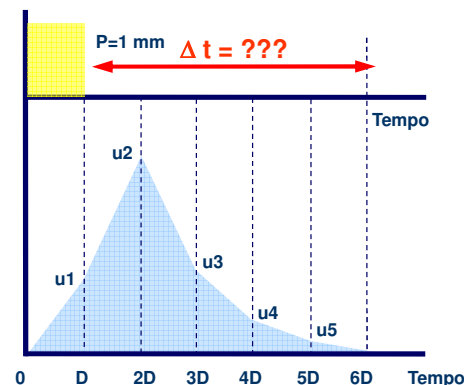
Se a precipitação efetiva associada à definição do HUD for de 1 mm:

$$Q_j = \sum_{i=1}^{j \leq n} p_i u_{(j-i+1)}$$

- Q1 = p1 u1
- Q2 = p2 u1 + p1 u2
- Q3 = p3 u1 + p2 u2 + p1 u3
- Q4 = p4 u1 + p3 u2 + p2 u3 + p1 u4
- ⋮
- Qn = pn u1 + p(n-1) u2 + p(n-2) u3 + ⋯ + p1 un
- Q(n+1) = pn u2 + p(n-1) u3 + p(n-2) u4 + ⋯ + p1 u(n+1)
- Q(n+2) = pn u3 + p(n-2) u3 + p(n-3) u4 + ⋯ + p1 u(n+2)
- ⋮

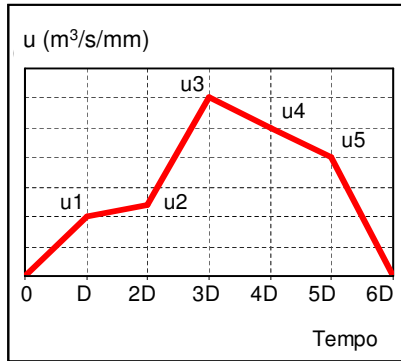
Notas finais:

... igualdade entre o volume da precipitação efetiva e o volume do escoamento direto relação com a área da bacia hidrográfica ... discretização do HUD necessariamente de D em D ...



$$D \sum_i u_i = A P$$

$$\sum_i u_i = \frac{A P}{D}$$



Igualdade entre o volume da precipitação efetiva associada a um qualquer hidrograma e o volume do escoamento direto desse hidrograma ➡
 ➡ particularização para o acaso do hidrograma unitário para a precipitação P com duração D

$$V_{ED} = \frac{u_1}{2}D + \frac{u_1+u_2}{2}D + \frac{u_2+u_3}{2}D + \frac{u_3+u_4}{2}D + \frac{u_4+u_5}{2}D + \frac{u_5}{2}D = D \sum_i u_i$$

$$V_{PE} = AP$$

$$\sum_i u_i = \frac{AP}{D}$$

Notas finais:

... igualdade entre o volume da precipitação efetiva e o volume do escoamento direto relação com a área da bacia hidrográfica

... curva em S

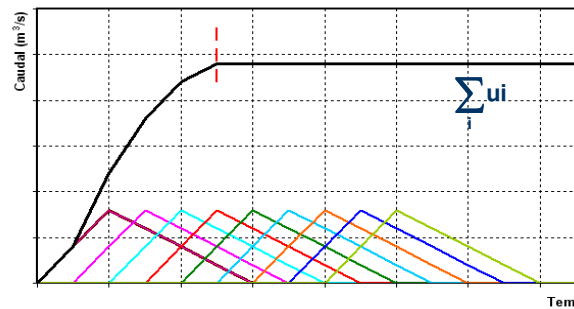
Intervalo de tempo		HUD (m³/s/mm)	Precipitação efectiva em cada intervalo de tempo, D (mm) e correspondente hidrograma de cheia parcelar (m³/s)										Caudal do escoamento directo (m³/s)	
Em unidades de D	Tempo (s)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	t1	u1	u1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	u1
2D	t2	u2	u2	u1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2
3D	t3	u3	u3	u2	u1	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3
4D	t4	u4	u4	u3	u2	u1	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4
5D	t5	u5	u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
6D	t6	0	0	u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
7D	t7			0	u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
8D	t8				0	u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
9D	t9					u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
10D	t10						0	u5	u4	u3	u2	u1	0	u1+u2+u3+u4+u5
11D	t11								0	u5	u4	u3	u2	u1+u2+u3+u4+u5
12D	t12									u5	u4	u3	u2	u1+u2+u3+u4+u5
13D	t13										0	u5	u4	u1+u2+u3+u4+u5
14D	t14											0	u5	u1+u2+u3+u4+u5
15D	t15												0	u1+u2+u3+u4+u5
.....

Notas finais:

... igualdade entre o volume da precipitação efetiva e o volume do escoamento direto relação com a área da bacia hidrográfica

... curva em S

Intervalo de tempo		HUD (m³/s/mm)	Precipitação efectiva em cada intervalo de tempo, D (mm) e correspondente hidrograma de cheia parcelar (m³/s)										Caudal do escoamento directo (m³/s)	
Em unidades de D	Tempo (s)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	t1	u1	u1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	u1
2D	t2	u2	u2	u1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2
3D	t3	u3	u3	u2	u1	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3
4D	t4	u4	u4	u3	u2	u1	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4
5D	t5	u5	u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
6D	t6	0	0	u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
7D	t7			0	u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
8D	t8				0	u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
9D	t9					u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
10D	t10						0	u5	u4	u3	u2	u1	0	u1+u2+u3+u4+u5
11D	t11								0	u5	u4	u3	u2	u1+u2+u3+u4+u5
12D	t12									0	u5	u4	u3	u1+u2+u3+u4+u5
13D	t13										0	u5	u4	u1+u2+u3+u4+u5
14D	t14											0	u5	u1+u2+u3+u4+u5
15D	t15												0	u1+u2+u3+u4+u5
.....

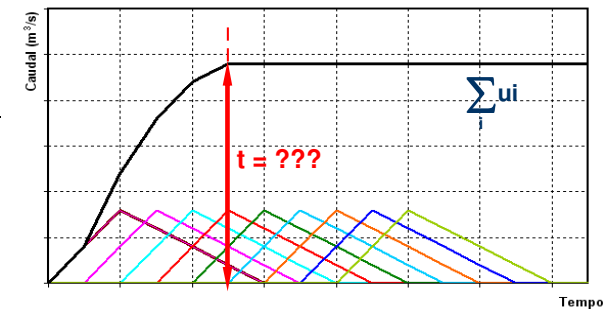


Notas finais:

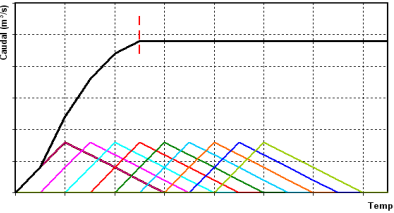
... igualdade entre o volume da precipitação efetiva e o volume do escoamento direto relação com a área da bacia hidrográfica

... curva em S

Intervalo de tempo		HUD (m³/s/mm)	Precipitação efectiva em cada intervalo de tempo, D (mm) e correspondente hidrograma de cheia parcelar (m³/s)										Caudal do escoamento directo (m³/s)	
Em unidades de D	Tempo (s)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	t1	u1	u1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	u1
2D	t2	u2	u2	u1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2
3D	t3	u3	u3	u2	u1	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3
4D	t4	u4	u4	u3	u2	u1	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4
5D	t5	u5	u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
6D	t6	0	0	u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
7D	t7			0	u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
8D	t8				0	u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
9D	t9					u5	u4	u3	u2	u1	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
10D	t10						0	u5	u4	u3	u2	u1	0	u1+u2+u3+u4+u5
11D	t11								0	u5	u4	u3	u2	u1+u2+u3+u4+u5
12D	t12									0	u5	u4	u3	u1+u2+u3+u4+u5
13D	t13										0	u5	u4	u1+u2+u3+u4+u5
14D	t14											0	u5	u1+u2+u3+u4+u5
15D	t15												0	u1+u2+u3+u4+u5
.....



Intervalo de tempo		HUD	Precipitação efetiva em cada intervalo de tempo, D (mm) e correspondente hidrograma de cheia parcelar (m³/s)							Caudal do escoamento directo (m³/s)
Em unidades de D	Tempo (s)	(m³/s/mm)	1	1	1	1	1	1	1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	11	u1	u1	0	0	0	0	0	0	u1
2D	12	u2	u2	0	0	0	0	0	0	u1+u2
3D	13	u3	u3	u2	0	0	0	0	0	u1+u2+u3
4D	14	u4	u4	u3	u2	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4
5D	15	u5	u5	u4	u3	u2	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
6D	16	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
7D	17	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
8D	18	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
9D	19	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
10D	110	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
11D	111	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
12D	112	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
13D	113	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
14D	114	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5
15D	115	0	0	0	0	0	0	0	0	u1+u2+u3+u4+u5



O Hidrograma Unitário para uma duração D pode ser obtido pela subtração de duas curvas em S desfasadas de D:

$$HS1: 0 \quad u1 \quad u1+u2 \quad u1+u2+u3 \quad u1+u2+u3+u4 \quad u1+u2+u3+u4+u5 \quad u1+u2+u3+u4+u5$$

$$HS2: 0 \quad 0 \quad u1 \quad u1+u2 \quad u1+u2+u3 \quad u1+u2+u3+u4 \quad u1+u2+u3+u4+u5 \dots$$

$$(HS1-HS2): 0 \quad u1 \quad u2 \quad u3 \quad u4 \quad u5 \quad 0 \quad \dots$$

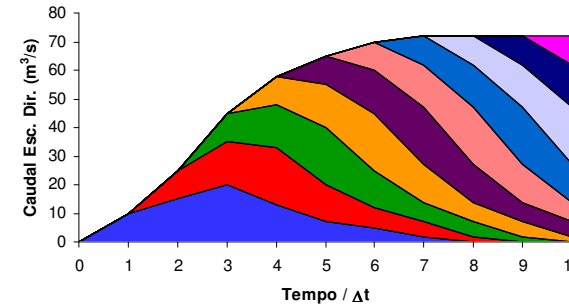


Hidrograma Unitário para a duração D

... o volume da precipitação efetiva é igual ao volume do escoamento directo do hidrograma de cheia originado por essa precipitação ...



$$A P_{\text{efectiva}} = \Delta t \sum Q_{\text{directo}}$$

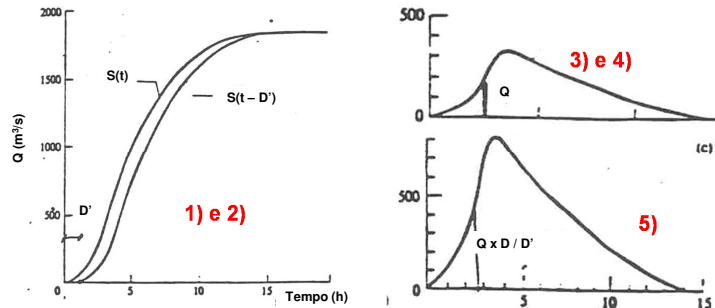


$$D \sum_i u_i = A P$$

$$\sum_i u_i = \frac{A P}{D}$$

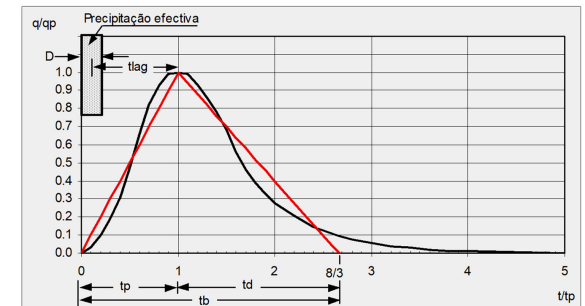
Obtenção do HUD' para uma duração D' conhecido o HUD para a duração D e para a precipitação efetiva de 1 mm

- 1) Obtenção da curva em S correspondente ao HUD (... sucessivo somatório de todas as ordenadas).
- 2) Obtenção de uma segunda curva em S, igual à precedente mas "translacionada" (no tempo), da nova duração D'.
- 3) Para cada instante, cálculo das diferenças entre as ordenadas das duas curvas em S.
- 4) O hidrograma assim obtido representa o hidrograma do escoamento directo para a precipitação efetiva com o valor de D'/D e com a duração D' (precipitação, portanto, valor não unitário).
- 5) Para referir o anterior hidrograma à precipitação de 1 mm, transformando-o no HUD', basta multiplicar as correspondentes ordenadas por D/D' e reter apenas as ordenadas que se referem aos sucessivos instantes de D' em D' (ou seja, o HUD' tem de ser discretizado de D' em D').



Conceito - HUS do Soil Conservation Service, SCS

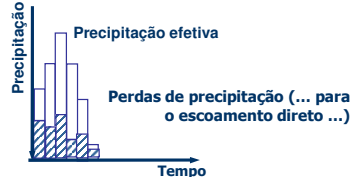
t/tp	q/qp	t/tp	q/qp
0.0	0.000	1.7	0.460
0.1	0.030	1.8	0.390
0.2	0.100	1.9	0.330
0.3	0.190	2.0	0.280
0.4	0.310	2.2	0.207
0.5	0.470	2.4	0.147
0.6	0.660	2.6	0.107
0.7	0.820	2.7	0.097
0.8	0.930	2.8	0.077
0.9	0.990	3.0	0.055
1.0	1.000	3.2	0.040
1.1	0.990	3.4	0.029
1.2	0.930	3.6	0.021
1.3	0.860	3.8	0.015
1.4	0.780	4.0	0.011
1.5	0.680	4.5	0.005
1.6	0.560	5.0	0.000



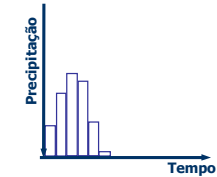
$$t_{lag} = 0,6 t_c \quad t_p = \frac{D}{2} + t_{lag}$$

$$\text{Para } P=1 \text{ mm} \quad q_p = \frac{0,2083 A}{t_p}$$

Hietograma da precipitação total

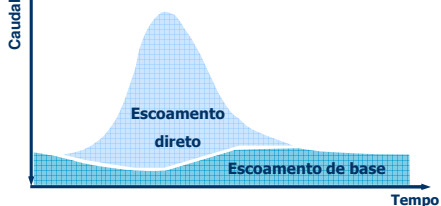


Hietograma da precipitação efetiva



Hidrograma de cheia correspondente ...

...escoamento total

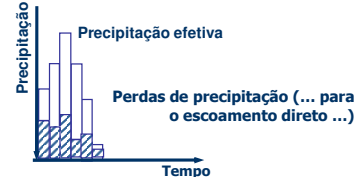


...escoamento direto

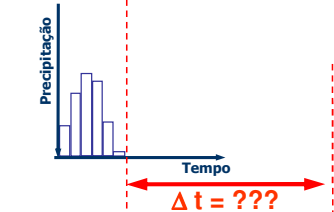


... o volume da precipitação efetiva é igual ao volume do escoamento direto do hidrograma de cheia originado por essa precipitação ... $A P_{efectiva} = \Delta t \sum Q_{directo}$

Hietograma da precipitação total

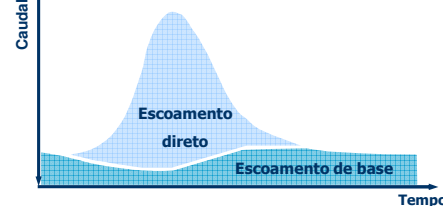


Hietograma da precipitação efetiva

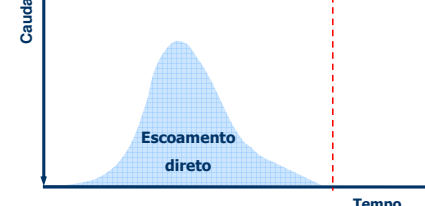


Hidrograma de cheia correspondente ...

...escoamento total



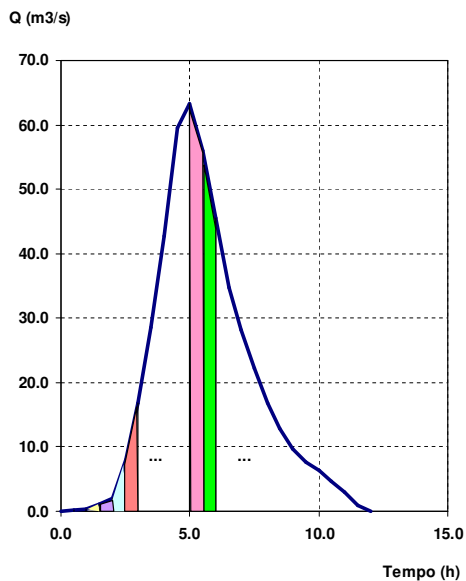
...escoamento direto



... o volume da precipitação efetiva é igual ao volume do escoamento direto do hidrograma de cheia originado por essa precipitação ... $A P_{efectiva} = \Delta t \sum Q_{directo}$

Volume do hidrograma de cheia do escoamento direto

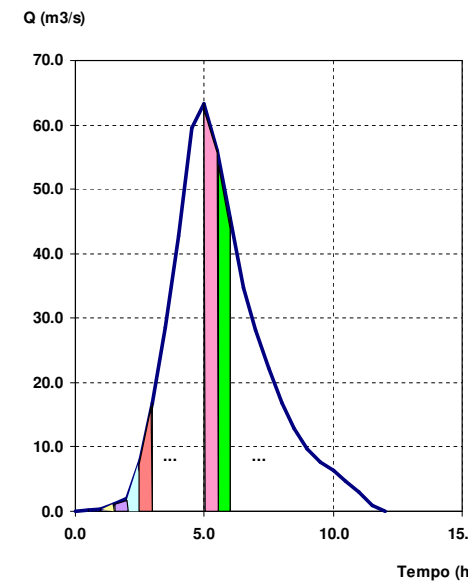
Tempo (h)	Q (m³/s)	V (m³)
0.0	0.0	
0.5	0.1	90
1.0	0.3	360
1.5	1.1	1260
2.0	2.1	2880
2.5	8.0	9090
3.0	16.8	22320
3.5	28.5	40770
4.0	42.8	64170
4.5	59.5	92070
5.0	63.3	110520
5.5	56.0	107370
6.0	45.5	91350
6.5	34.7	72180
7.0	28.2	56610
7.5	22.3	45450
8.0	16.8	35190
8.5	12.8	26640
9.0	9.7	20250
9.5	7.7	15660
10.0	6.3	12600
10.5	4.6	9810
11.0	2.9	6750
11.5	1.0	3510
12.0	0.0	900
Volume total		847800



(... regra dos trapézios ...)

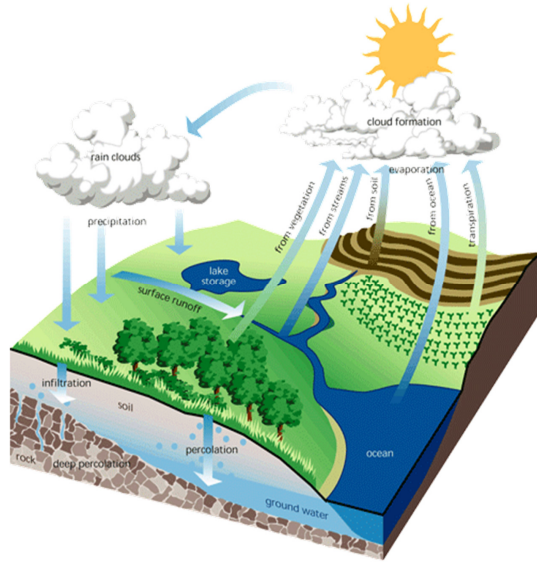
Volume do hidrograma de cheia do escoamento direto

Tempo (h)	Q (m³/s)	V (m³)
0.0	0.0	
0.5	0.1	90
1.0	0.3	360
1.5	1.1	1260
2.0	2.1	2880
2.5	8.0	9090
3.0	16.8	22320
3.5	28.5	40770
4.0	42.8	64170
4.5	59.5	92070
5.0	63.3	110520
5.5	56.0	107370
6.0	45.5	91350
6.5	34.7	72180
7.0	28.2	56610
7.5	22.3	45450
8.0	16.8	35190
8.5	12.8	26640
9.0	9.7	20250
9.5	7.7	15660
10.0	6.3	12600
10.5	4.6	9810
11.0	2.9	6750
11.5	1.0	3510
12.0	0.0	900
Volume total		847800



(471 m³/s x 0.5 h x 3600 s = 847 800 m³)

EXERCÍCIOS
38, 39 e 43



Tempo (unidades de D)	Ordenadas HUD (m³/s/mm)	Caudais do hidrograma de cheia correspondente ao escoamento directo (m³/s)				
		Hidrogramas "parcelares"				
		P1 (mm)	P2 (mm)	P3 (mm)	P4 (mm)	Hidrograma de cheia na secção de referência da bacia hidrográfica (m³/s)
0	0	0	0	0	0	0
1	u1	P1 u1	0	0	0	P1 u1
2	u2	P1 u2	P2 u1	0	0	P1 u2 + P2 u1
3	u3	P1 u3	P2 u2	P3 u1	0	P1 u3 + P2 u2
4	u4	P1 u4	P2 u3	P3 u2	P4 u1	P1 u4 + P2 u3 + P3 u2
5	u5	P1 u5	P2 u4	P3 u3	P4 u2	P1 u5 + P2 u4 + P3 u3
6	0	0	P2 u5	P3 u4	P4 u3	P2 u5 + P3 u4
7	0	0	0	P3 u5	P4 u4	P3 u5
8	0	0	0	0	P4 u5	P4 u5
9	0	0	0	0	0	0

$Q1 = p1 u1$
 $Q2 = p2 u1 + p1 u2$
 $Q3 = p3 u1 + p2 u2 + p1 u3$
 $Q4 = p4 u1 + p3 u2 + p2 u3 + p1 u4$
 \vdots
 $Qn = pn u1 + p(n-1) u2 + p(n-2) u3 + \dots + p1 un$
 $Q(n+1) = pn u2 + p(n-1) u3 + p(n-2) u4 + \dots + p1 u(n+1)$
 $Q(n+2) = pn u3 + p(n-2) u3 + p(n-3) u4 + \dots + p1 u(n+2)$
 \vdots

39. Em determinada bacia hidrográfica, em resultado de precipitação útil que, de 30 min em 30 min, foi 5 mm, 10 mm e 3 mm, obteve-se o seguinte hidrograma do escoamento directo

t (h)	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Q _d (m³/s)	0	15	70	99	44	6	0

a) Determine o tempo de concentração da bacia, a área da bacia hidrográfica e o hidrograma unitário para a duração de 0,5 h.
(R: 1.5 h; 23.4 km²; u1=3 m³/s/mm; u2=8 m³/s/mm; u3=2 m³/s/mm).

38. Em determinada bacia hidrográfica, em resultado de precipitação útil com grande duração e intensidade constante de 60 mm/h, obteve-se o seguinte hidrograma do escoamento directo

t (h)	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	...
Q _d (m³/s)	0	60	150	280	320	340	350	350	...

a) Determine a área da bacia hidrográfica e o tempo de concentração.
b) Determine o hidrograma unitário para a duração de 0.25 h. Confirme que o hidrograma que obteve está correcto.
(R: 21 km²; u1=4 m³/s/mm; u2=6 m³/s/mm; u3=26/3 m³/s/mm; u4=8/3 m³/s/mm; u5=4/3 m³/s/mm; u6=2/3 m³/s/mm).

43. O hidrograma unitário de determinada bacia hidrográfica encontra-se representado no seguinte quadro:

t (h)	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
u (m³/s/mm)	0	10	30	25	12	6	0

Desprezando as perdas da precipitação e sabendo que a linha de possibilidade udométrica para o período de retorno de 100 anos na região é dada por

$$P = 5 t^{0.5}$$

com P em mm e t em min, determine:

- a distribuição temporal da precipitação que maximiza o caudal de ponta de cheia para esse período de retorno,
- o referido caudal máximo de ponta de cheia,
- o caudal de ponta de cheia que resultaria de uma precipitação com distribuição temporal uniforme (C=0.8).

R: 6.46 mm; 8.70 mm; 11.34 mm; 27.39 mm; 7.34 mm; 5.84 mm; 1321.8 m³/s; 813.2m³/s)