



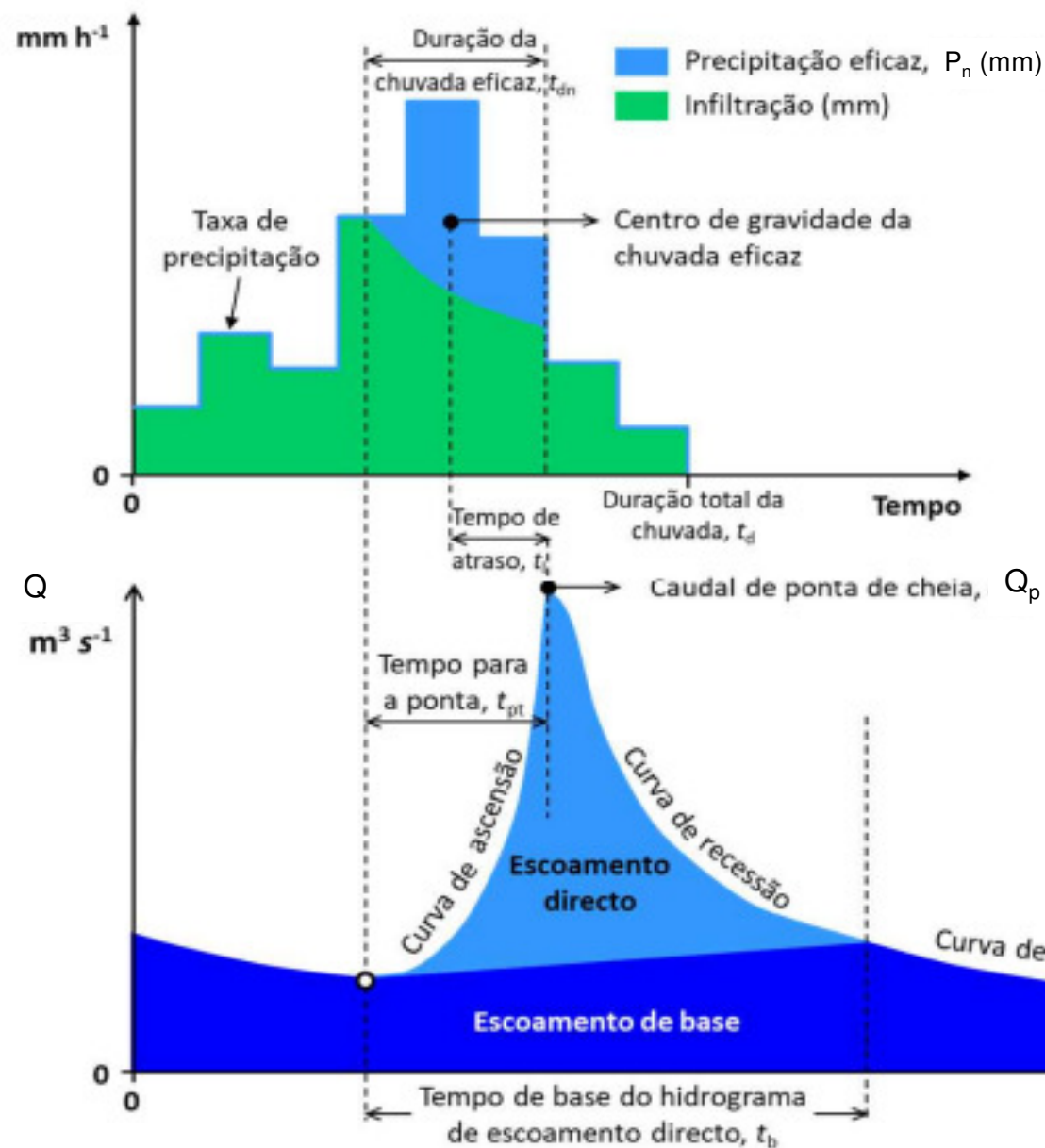
HIDROLOGIA

6. Determinação do caudal de ponta de cheia

6.4 Tempos Característicos das Relações Precipitação - Escoamento

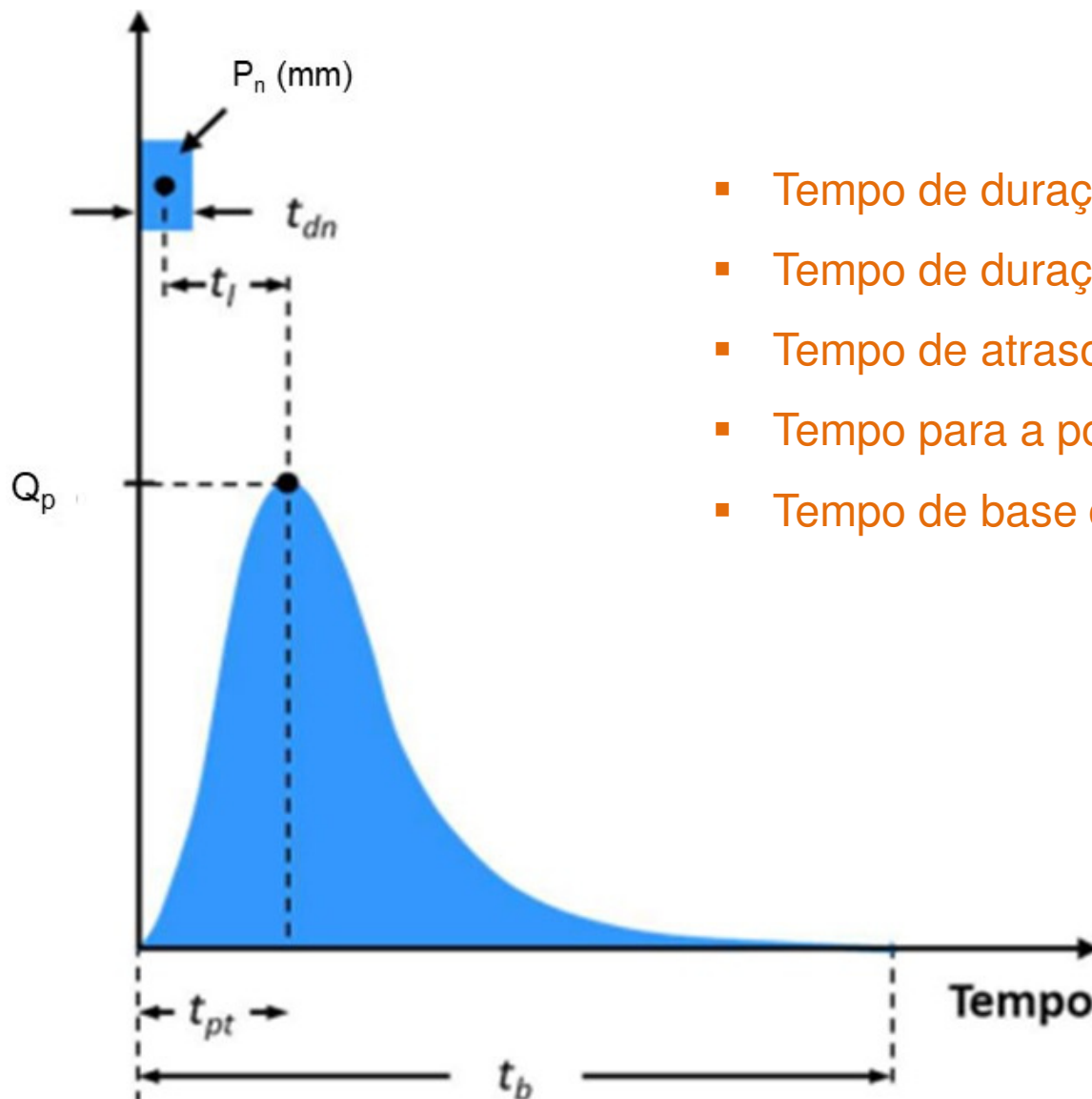
6.5 Estimativa de Caudais de Ponta de Cheia

- Formula racional
- Método do SCS
- Fórmula de Myer



6.4 Tempos Característicos das Relações Precipitação - Escoamento

- Tempo de duração da chuva
- Tempo de duração da chuva eficaz
- Tempo de atraso
- Tempo para a ponta



- Tempo de duração da chuvada, t_d
- Tempo de duração da chuvada eficaz, t_{dn}
- Tempo de atraso, t_l
- Tempo para a ponta, t_{pt}
- Tempo de base do hidrograma, t_b

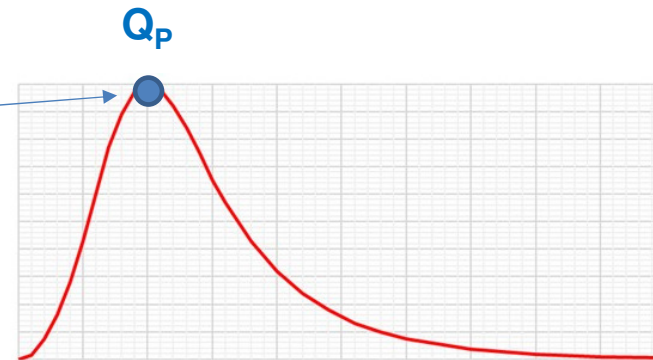
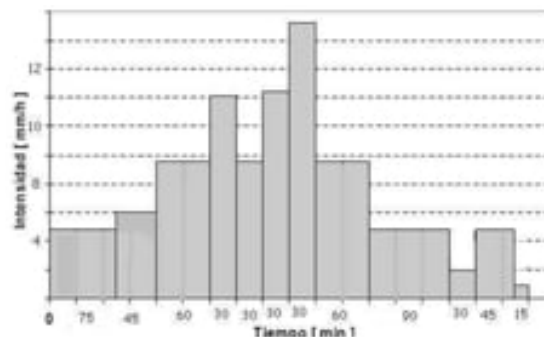
6.5 Estimativa de Caudais de Ponta de Cheia

Recorre-se a um modelo de precipitação-escoamento, de acontecimento, que transforma um **hietograma de projeto** a que esteja associado o **tempo de retorno T** , num **caudal de ponta de cheia, Q_p** , que se admite ter o mesmo tempo de retorno que o hietograma.

Hietograma de projeto ⇔

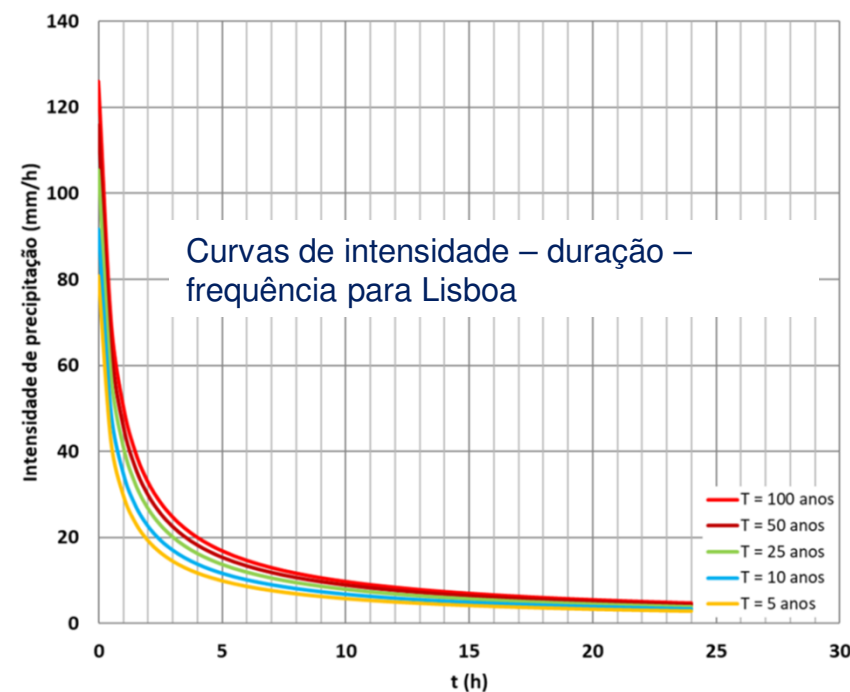
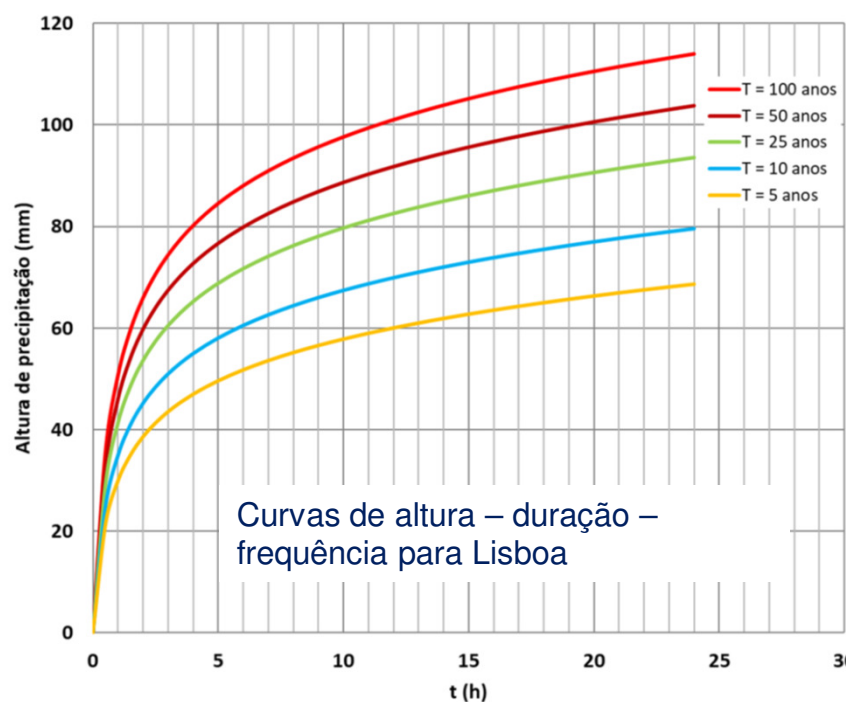
⇔ associado a um período de retorno T

Q_p com período de retorno T idêntico



Previamente à aplicação dos métodos, é necessário determinar a precipitação de projeto com o período de retorno (T) pretendido (ver aula teórica da precipitação como selecionar T)

É necessário recorrer a curvas que já foram caracterizadas estatisticamente a partir dos dados observados num posto meteorológico da região, que relacionam a duração e a intensidade de uma chuvada com a sua maior ou menor frequência, ou seja, com o tempo de retorno. São designadas de curvas de **intensidade–duração–frequência (IDF)** ou **altura–duração–frequência (ADF)**.



De entre os diversos modelos existentes, apresentam-se três:

1. **Fórmula Racional**, apropriada para pequenas bacias, de preferência com área inferior a 1 km²;
2. **Método do SCS**, apropriado para bacias de média dimensão, até cerca de 500 km²;
3. **Fórmula de Myer**, um modelo empírico mais grosseiro, parametrizado para Portugal continental

1. Fórmula racional – para bacias de pequena dimensão

- A sua aplicação está restringida a bacias de pequena dimensão pois assume os seguintes pressupostos:
 - a precipitação ocorre **uniformemente em toda a área** da bacia;
 - a **intensidade de precipitação é constante ao longo de todo o evento**, que tem uma duração igual ao tempo de concentração, ou seja **$t_d = t_c$** .
- Aplica-se de preferência a bacias com área inferior a 1 km² ou tempo de concentração inferior a 1 h, sendo possível aplicá-la, com algumas modificações, em áreas até 1.3 a 2.5 km²

$$Q_P = 0.278 C_T p_T A$$

fórmula racional – fórmula empírica cinemática

Q_P ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) é o caudal de ponta para o período de retorno T

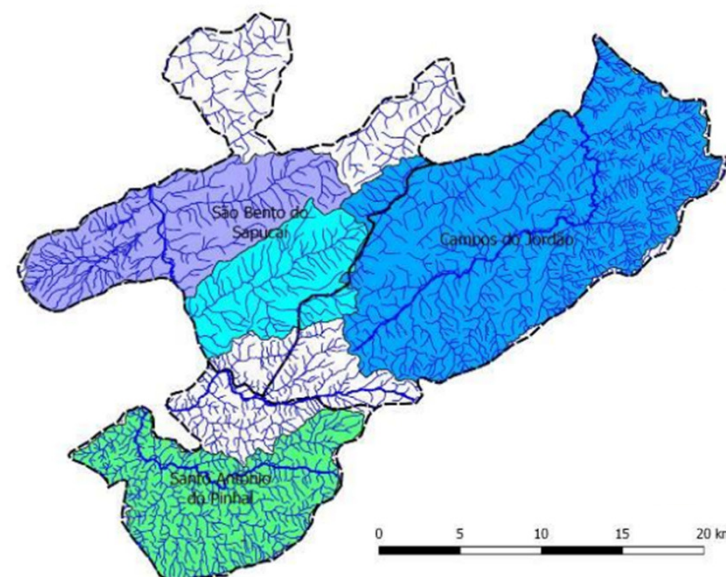
C_T é o coeficiente de escoamento para T , função do tipo e uso do solo,

p_T (mm h^{-1}) é a intensidade de precipitação com o tempo de retorno T e **duração igual ao tempo de concentração da bacia, t_c** , obtida a partir da curva de intensidade-duração-frequência para a região,

A (km^2) é a área da bacia.

- Em bacias com i manchas homogêneas com diferentes solos ou uso, com coeficientes de escoamento C_{T_i} ocupando as áreas A_i , deve obter-se um **coeficiente de escoamento médio ponderado pelas áreas**.

↑
O tempo de
concentração
intervém no cálculo
do caudal de ponta



Área Disciplinar de

Quadro 4 Coeficientes de escoamento C_T para utilização da Fórmula Racional (Fonte: Cidade de Austin, Texas, em Chow, *et al.*, 1988)

Características da Superfície	Tempo de Retorno (anos)						
	2	5	10	25	50	100	150
Zonas urbanas							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Betão/Telhados	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Áreas relvadas (relvados, parques, etc.)							
<i>Más condições</i> (cobertura do solo inferior a 50% da área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Médio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Inclinado, acima de 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condições intermédias</i> (cobertura do solo entre 50% e 75% da área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Médio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Inclinado, acima de 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Boas condições</i> (cobertura do solo acima de 75% da área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Médio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Inclinado, acima de 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Zonas rurais							
Culturas							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Médio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Inclinado, acima de 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastagem/Matos							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Médio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Inclinado, acima de 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Floresta							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Médio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Inclinado, acima de 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Hidrograma correspondente ao método da fórmula racional

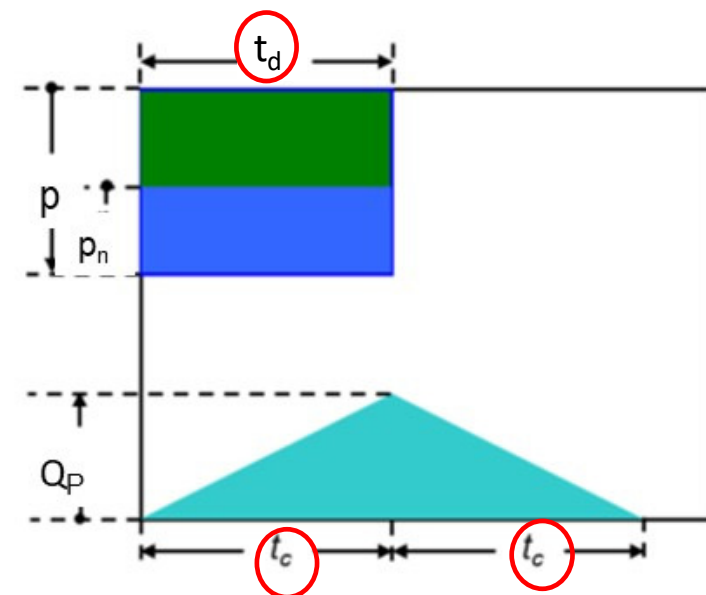
- Escolhida a duração da chuva, t_d , obtém-se a **altura de precipitação** correspondente, P_T , para o tempo de retorno pretendido, T , a partir da **curva de altura-duração-frequência** da região (ver aula sobre precipitação) $P(t, T) = a_T t^{b(T)}$

Mto IMP

- ➔ A fórmula racional considera que a duração da chuva, t_d , é igual ao tempo de concentração da bacia, t_c

- Com a **altura de precipitação calculada** determina-se a **intensidade de precipitação, p** , para o tempo de retorno T pretendido

$$p = \frac{P}{t_d}$$



p – intensidade de precipitação total
 p_n – intensidade de precipitação eficaz
 Q_p – caudal de pontão
 t_c – tempo de concentração

↓

$$Q_P = 0.278 C_T p_T A$$

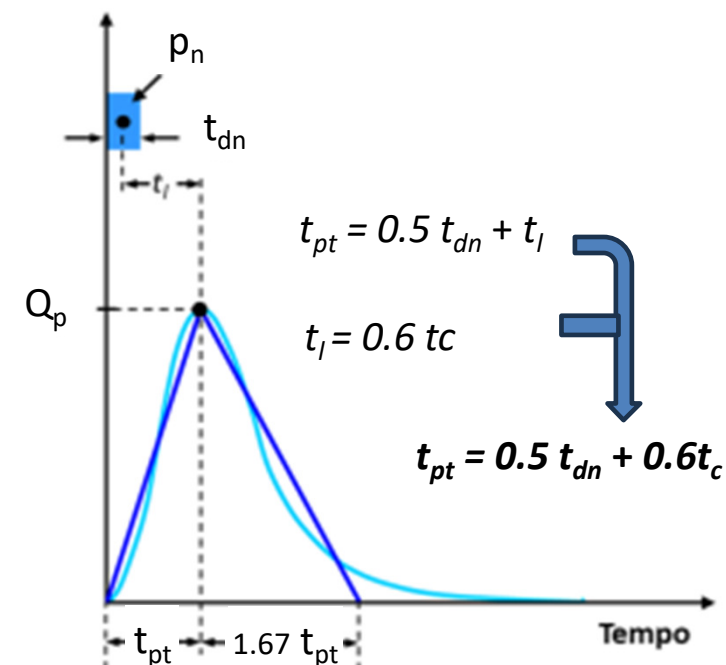
2. Bacias de média dimensão – método do SCS

O hidrograma de escoamento direto pode ser aproximado por um **hidrograma triangular**, com o mesmo volume de **escoamento total**, como representado ao lado.

Escolhida a duração da chuvada, obtém-se a **altura de precipitação** correspondente, P_T , para o tempo de retorno pretendido, T , a partir da curva de altura-duração-frequência da região.

Mto IMP

➔ ao contrário da fórmula racional, o SCS **NÃO** considera que a duração da chuvada, t_d , é igual ao tempo de concentração da bacia, t_c



t_{pt} é o tempo para a ponta,
 t_{dn} é a duração da precipitação eficaz
 t_l é o tempo de atraso

Relembrando da aula “Infiltração”, a precipitação eficaz, P_n , é dada por:

$$P_n = \frac{(P - I_a)^2}{(P + S_d - I_a)} \quad \text{para } P > 0.2 S_d$$

em que a capacidade de armazenamento da bacia, S_d , deverá ser calculada para a situação AMC III (solo perto da saturação)

A expressão de cálculo do **caudal de ponta de cheia**, Q_p , para um determinado T , segundo o método SCS é:

$$Q_p = \frac{0.208 P_n A}{t_{pt}} = \frac{0.208 P_n A}{0.5 t_{dn} + t_l}$$

t_{pt} é o tempo para a ponta,
 t_{dn} é a duração da precipitação eficaz
 t_l é o tempo de atraso

com P_n em mm, A em km², os tempos em h e Q_p em m³ s⁻¹.

Fórmula do SCS, em que $t_c = t_l/0.6$

$$t_l = \frac{2.587 (L_c + I)^{0.8} (1000/CN - 9)^{0.7}}{19000 \sqrt{S_b}}$$

t_l = tempo de atraso (h),

L_c = comprimento do curso de água principal (m),

I = comprimento desde a nascente do curso de água até à linha de cumeada (m),

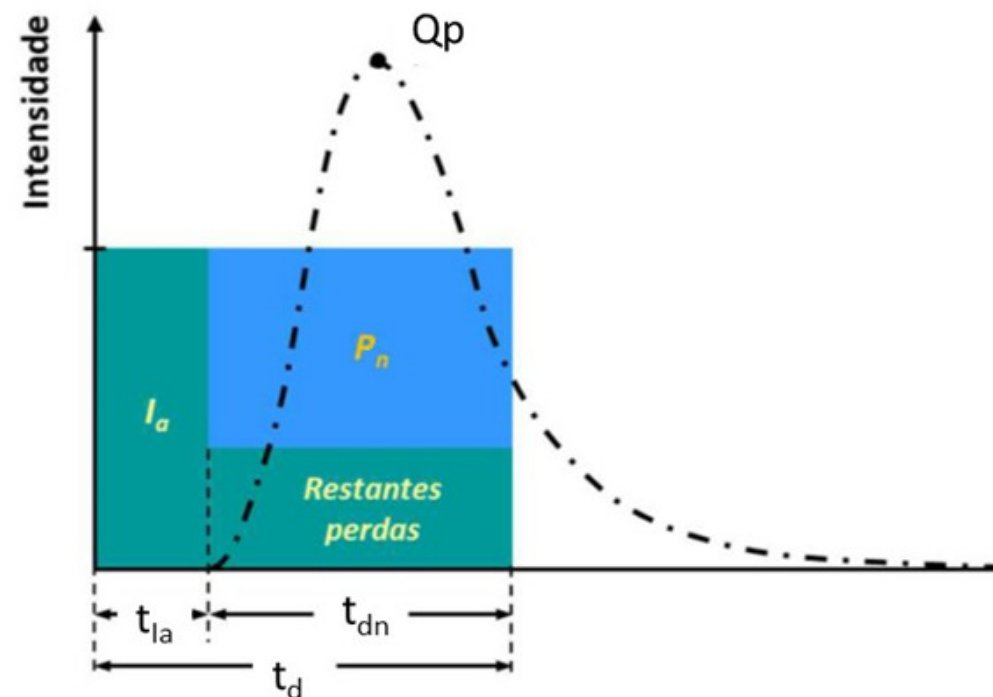
S_b = declive médio da bacia (-)

Escolha da duração de precipitação total, t_d , com intensidade p , que conduz a um tempo t_{la} para satisfação das perdas iniciais I_a , e uma duração da precipitação eficaz igual ao tempo de concentração da bacia, $t_{dn} = t_c$.

Mto IMP

$$t_d = t_{la} + t_c \Leftrightarrow t_d = \frac{I_a}{p} + t_c$$

$$\frac{P}{t_d} \text{ logo } t_d = \frac{I_a}{P/t_d} + t_c$$



A equação não tem resolução analítica, resolvendo-se por iterações, com início em $t_d = t_c$

3. Fórmula de Myer – fórmula empírica não cinemática

$$Q_P = C_T A^\alpha$$

A fórmula de Myer é um modelo empírico mais grosseiro, mas apresenta a vantagem de ter sido parametrizada para a totalidade de Portugal Continental.

Dentro de cada zona o expoente α é constante e o coeficiente C é função do tempo de retorno.

Deve usar-se apenas quando não for possível recorrer ao modelo SCS

Quadro 5 Definição de zonas para aplicação da fórmula de Myer (Loureiro, *et al.*, 1980 e 1984, em Quintela, 1996).

Localização geral	Definição de zonas
A Norte da bacia do Tejo	N1 – Bacias superiores do Cávado, Tâmega e Tua. N2 – Bacias do Lima, bacia intermédia do Cávado, bacia superior do Ave, bacias inferiores do Tâmega e do Tua e bacia superior do Sabor. N3 – Bacias inferiores do Cávado, Ave, Douro, Vouga e Mondego. N4 – Bacia inferior do Sabor, margem esquerda da bacia do Douro a montante da confluência do Paiva, bacias superiores do Vouga e Mondego.
Bacia do Tejo	T1 – Bacias superiores do Zêzere e bacias do Ponsul, Ocreza, Aravil e Erges (válidos somente onde $\bar{R} < 1400$ mm). T2 – Bacias inferiores do Zêzere e bacias do Nabão, Alviela, Maior, Alenquer, Grande da Pipa, Trancão; bacias inferiores do Sorraia e bacia da ribeira de Muge. Na área compreendida entre a serra de Candeeiros, serra de Montejunto e o litoral e na bacia do rio Lis, os valores deverão ser tomados com reserva. T3 – Bacia superior do Sorraia, bacias da ribeira de Nisa e dos rios Sever e Caia.
A Sul da bacia do Tejo	S1 – Baixo Sado. S2 – Alto Sado, bacias superiores do Xarrama, Degebe e Baixo Mira. S3 – Bacia do Guadiana, entre as zonas S2 e S4. S4 – Ribeiras do Algarve, Baixo Guadiana e Alto Mira (válidos somente onde $500 \text{ mm} < \bar{R} < 1000$ mm).

Legenda: $\bar{R}$ = Precipitação média anual.

Quadro 6 Parâmetros C_T e α da fórmula de Myer: $q_T = C_T A^\alpha$, com q_T em $m^3 s^{-1}$ e A em km^2 , válida para $A > 50 km^2$, para Portugal Continental (Loureiro, *et al.*, 1980 e 1984, em Quintela, 1996).

Zona	α	C						
		Tempo de retorno, T (anos)						
		5	10	25	50	100	500	1000
N1	0,807	2,85	3,72	4,53	5,27	6,10	7,6	8,57
N2	0,694	5,44	6,97	8,58	9,67	10,98	13,9	15,63
N3	0,510	24,93	30,50	39,14	43,49	49,50	57,1	64,83
N4	0,489	11,68	16,78	19,19	22,31	26,20	33,1	38,52
T1	0,375	31,29	40,07	50,24	58,06	66,90	80,50	94,40
T2	0,466	19,17	26,3	34,70	42,20	48,30	66,20	72,30
T3	0,761	3,66	4,49	5,58	6,02	8,45	9,60	11,00
S1	0,816	1,66	2,09	2,58	2,98	3,37	4,27	4,75
S2	0,738	3,39	4,28	5,54	6,44	7,40	9,50	10,68
S3	0,745	2,38	3,06	3,68	4,12	4,94	6,23	7,27
S4	0,784	3,45	4,40	5,40	6,24	7,09	8,97	9,88