

DRENAGEM URBANA



DRENAGEM URBANA: Principais conteúdos programáticos

■ *INTRODUÇÃO À DRENAGEM URBANA*

- Tipos de sistemas de drenagem urbanos e principais componentes dos sistemas

■ *SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS*

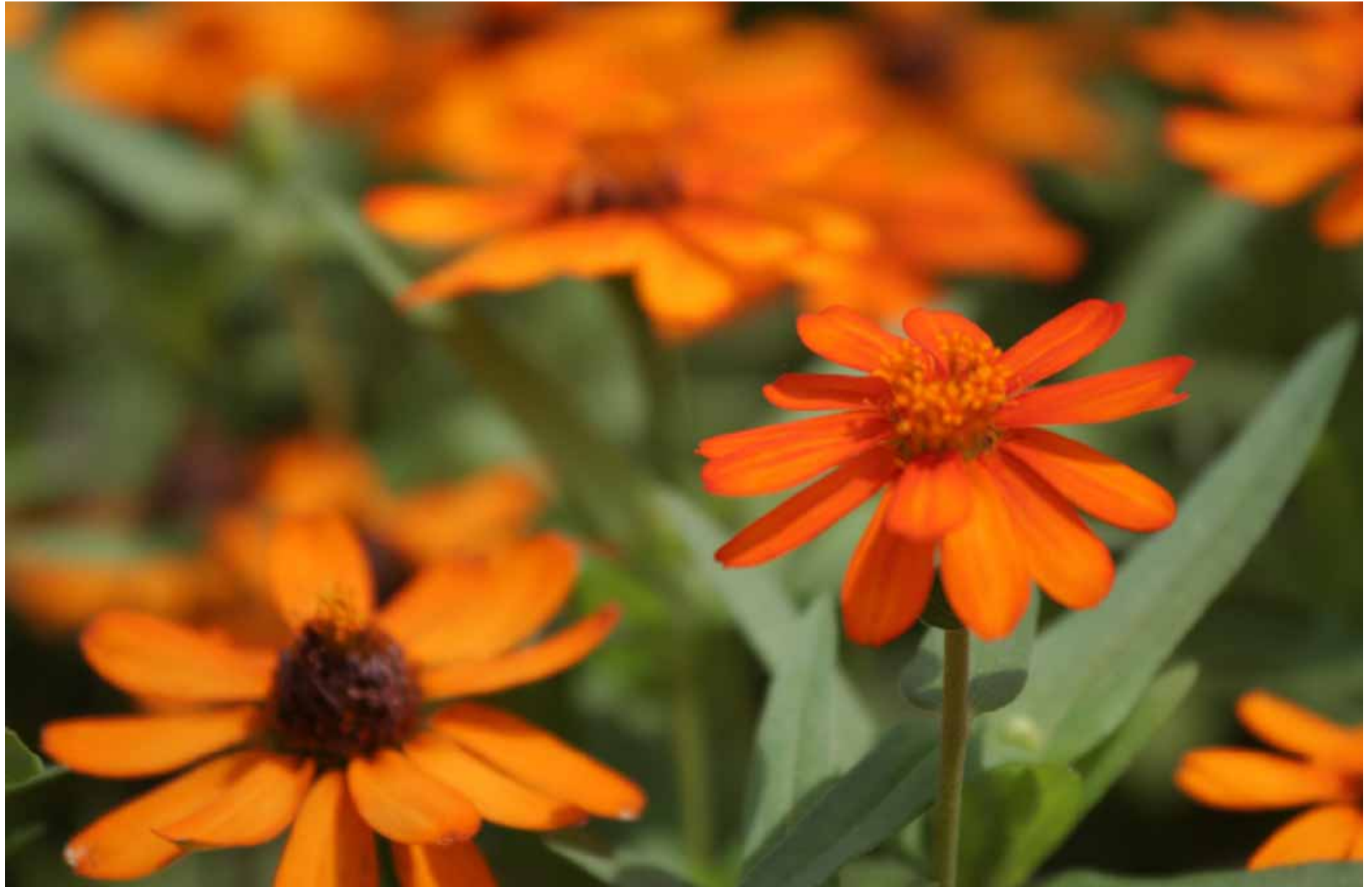
- Aspectos quantitativos e qualitativos e principais preocupações
- Concepção e constituição dos sistemas
- Implantação do sistema de drenagem pluvial
- Cálculo de caudais pluviais
- Dimensionamento hidráulico de colectores
- Dispositivos interceptores
- Bacias de retenção
- Câmaras drenantes

DRENAGEM URBANA: Principais conteúdos programáticos

- *MODELAÇÃO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE SISTEMAS DE SANEAMENTO*
 - Etapas do processo de modelação
 - Princípios de modelação matemática do comportamento de sistemas de drenagem
 - Caracterização sumária de modelos existentes
 - Construção do modelo: dados necessários e resultados obtidos

- *BENEFICIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM UNITÁRIOS*
 - Tendências actuais na concepção e beneficiação dos sistemas unitários
 - Dimensionamento de estruturas de armazenamento: o método da precipitação crítica

INTRODUÇÃO



INTRODUÇÃO À DRENAGEM URBANA

■ TIPOS DE SISTEMAS

❖ Unitários

Constituídos **por uma única rede de colectores** onde são admitidas conjuntamente as águas residuais domésticas, comerciais e industriais, e águas pluviais; recolhem e drenam a totalidade das águas a afastar dos aglomerados populacionais.

❖ Separativos

Constituídos por **duas redes de colectores distintas**, uma destinada à drenagem das águas residuais domésticas, comerciais e industriais, e uma outra à drenagem das águas pluviais ou similares.

❖ Mistos

Constituídos pela **conjugação dos dois tipos anteriores**, em que parte da rede de colectores funciona como sistema unitário e a restante como sistema separativo.

❖ Separativos parciais ou pseudo-separativos

Em que se admite, em condições excepcionais, **a ligação de águas pluviais de pátios interiores ao colector de águas residuais domésticas**.

INTRODUÇÃO À DRENAGEM URBANA

TIPO DE SISTEMA	VANTAGENS	INCONVENIENTES
Sistemas convencionais separativos domésticos e pluviais	Transporte de efluentes de natureza distinta por diferentes colectores ⇒ diferentes condições de tratamento e de destino final.	Custos elevados de primeiro investimento (necessário dois tipos de colectores). Necessidade de construção cuidadosa, em termos de ligações de ramais prediais.

INTRODUÇÃO À DRENAGEM URBANA

■ COMPONENTES DOS SISTEMAS

■ *Sistemas separativos de drenagem de água pluvial:*

→ *redes de colectores (e ramais de ligação)*

→ *órgãos acessórios*

- dispositivos de entrada (sarjetas de passeio ou sumidouros)
- câmaras de visita

→ *órgãos especiais e instalações complementares*

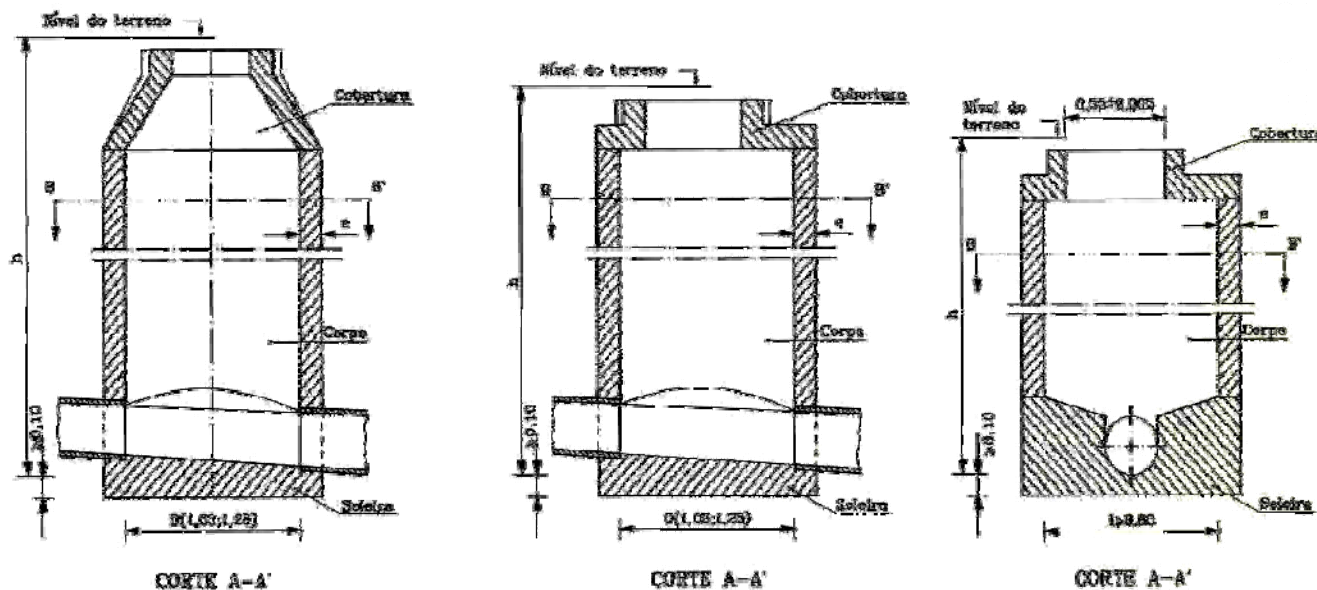
- desarenadores
- bacias de retenção
(regularizar os caudais pluviais afluentes, restituindo, a jusante, caudais compatíveis com a capacidade de transporte da rede de drenagem ou curso de água)
- câmaras drenantes
(dispositivos de retenção e infiltração da água pluvial)
- instalações elevatórias (a evitar)

INTRODUÇÃO À DRENAGEM URBANA

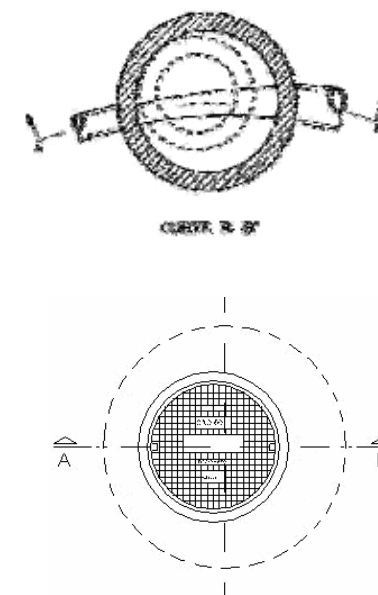
Câmaras de visita

(Decreto Regulamentar nº 23/95 – Artigo 155º)

CORTE:



PLANTA:



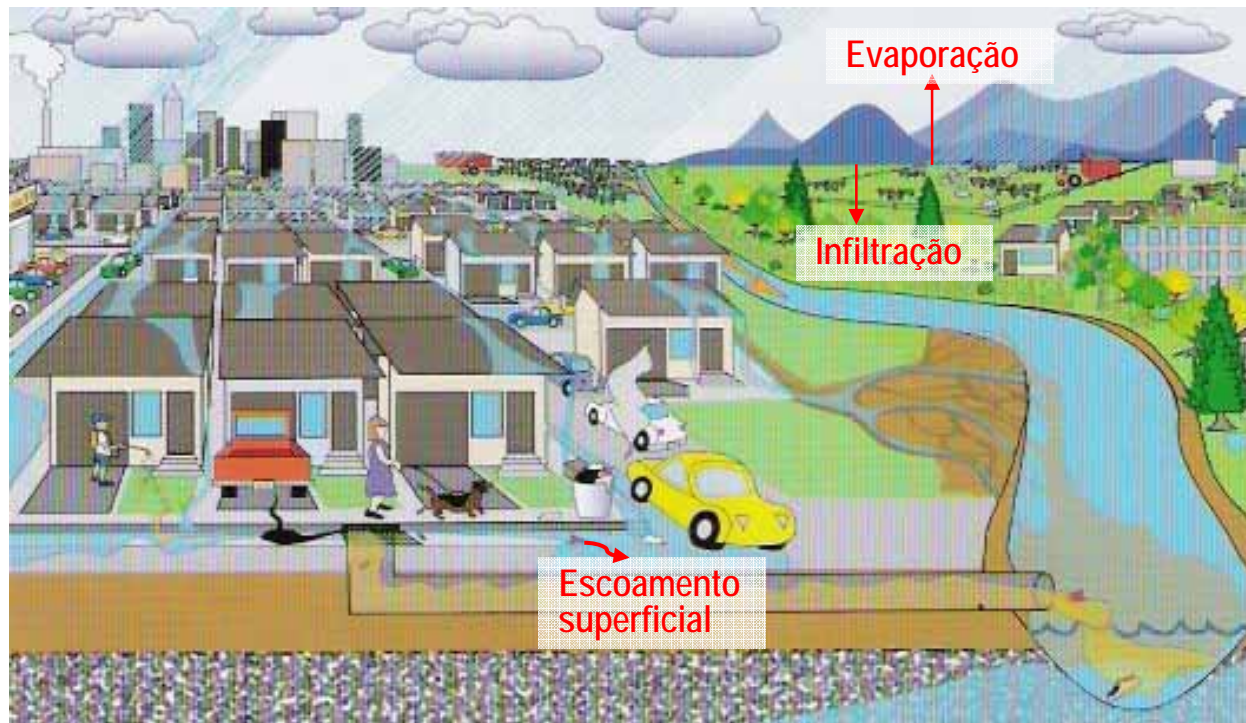
Obrigatória a implantação de câmaras de visita

- Na **confluência dos colectores**
- Nos pontos de **mudança de direcção, de inclinação e de diâmetro dos colectores**
- Nos **alinhamentos rectos, com afastamento máximo de 60 m e 100 m, conforme se trate, respectivamente, de colectores não visitáveis ou visitáveis ($D > 1.6$ m)**

SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS



■ ASPECTOS QUANTITATIVOS E QUALITATIVOS E PRINCIPAIS PREOCUPAÇÕES



Em zonas urbanas as águas pluviais podem cair:

- na cobertura dos edifícios
- sobre áreas pavimentadas
- em áreas permeáveis

SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

❖ Tipos de preocupações

• Carácter poluente das águas pluviais

- ▶ metais pesados (Fe, Pb, Zn,...)
- ▶ hidrocarbonetos
- ▶ sólidos em suspensão
- ▶ CBO₅ (matéria orgânica)

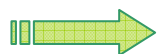
- ▶ Sist. unitários ⇒ efeito de “first flush” (ressuspensão e transporte de poluentes previamente decantados nos colectores)

• Comportamento unitário dos sistemas pluviais (mesmo quando concebidos como separativos)

• Variabilidade dos caudais

- ▶ Caudais de ponta >> caudais domésticos
- ▶ Relação entre a ocupação do solo e a grandeza dos caudais escoados
 - ↑ áreas impermeáveis
 - artificialização das linhas de água
- ▶ Regime variável de escoamento nos colectores

Agravamento
de caudais



PROJECTO MAIS COMPLEXO E CUSTO DE OBRAS SUPERIOR

■ CONCEPÇÃO E CONSTITUIÇÃO DOS SISTEMAS

↳ **Objectivo: Redução de caudal**

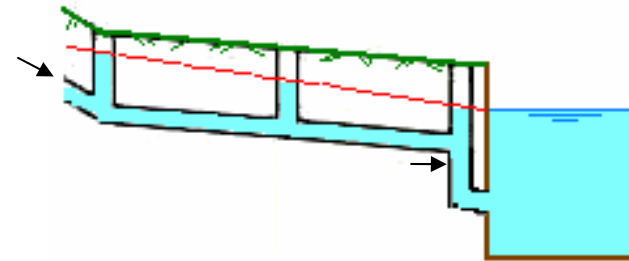
- aumentar a intercepção
a infiltração
o armazenamento e a detenção
- incrementar o tempo de percurso do escoamento
- aplicar técnicas apropriadas de gestão e exploração dos sistemas
(gestão em tempo real)

↳ **Objectivo: Controlo da qualidade da água no meio receptor**

- afastar a descarga do meio receptor sensível
- tratar a massa líquida ⇒ escoamento superficial (“overland flow”)
lagunagem
etc...

PRINCÍPIOS:

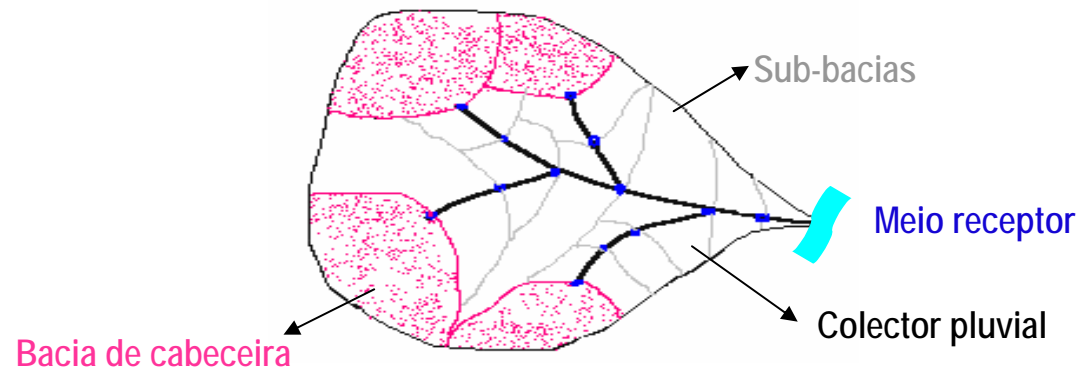
- A concepção deve dar-se numa **fase inicial** do **planeamento urbanístico**, especialmente em áreas críticas
 - zonas planas
 - zonas sob efeitos de maré



- Redução da **extensão das redes** de colectores e dos respectivos **diâmetros**
 - maximizar o percurso superficial da água pluvial (sobretudo nas cabeceiras)
 - favorecer a integração de áreas permeáveis (zonas verdes, pavimentos porosos...)

(Extensão menor que a rede doméstica)
- Adopção de soluções de drenagem **não convencionais**:
 - bacias de amortecimento
 - câmaras drenantes
- Preocupação com a **qualidade da água do meio receptor** (devida à poluição veiculada pelos caudais pluviais após os períodos estivais)

■ TRAÇADO DA REDE E DEFINIÇÃO DE BACIAS E SUB-BACIAS



- ➔ Implantação ao eixo dos arruamentos
- ➔ Definição correcta dos **limites da bacia hidrográfica** e das **sub-bacias** afectas a cada troço da rede

Redes separativas - em planta, o traçado dos colectores das duas redes deve apresentar sempre a mesma posição relativa (DR nº 23/95, artigo 135.º, ponto 5: “... *para minimizar os riscos de ligações indevidas de redes ou ramais, deve adoptar-se a regra de implantar o colector doméstico à direita do colector pluvial, no sentido do escoamento ...*”).

■ ETAPAS DE DIMENSIONAMENTO

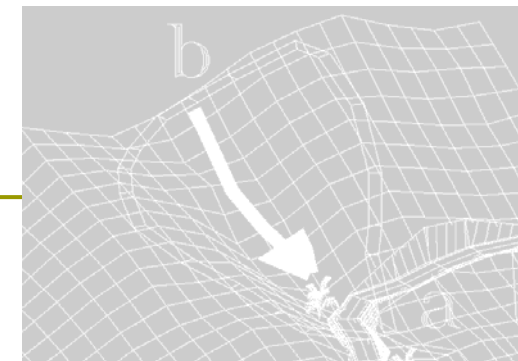
No dimensionamento de uma rede de drenagem de águas pluviais podem considerar-se três **etapas fundamentais**:

1. Definição dos elementos de base
2. Cálculo dos caudais pluviais de projecto
3. Dimensionamento hidráulico dos colectores

1. DEFINIÇÃO DE ELEMENTOS DE BASE

- Definição do **período de retorno T** (varia, em regra, entre dois e dez anos): *corresponde ao intervalo de tempo médio associado à ocorrência de precipitação de intensidade média superior a um dado valor.*
- Conhecimento do regime pluviométrico local \Rightarrow **curvas IDF**
- Definição dos **coeficientes de escoamento** para cada sub-bacia
- Definição dos **tempos de concentração iniciais t_c**
- Definição dos **condicionalismos**, principalmente de natureza hidráulica, associados à **descarga final das águas pluviais** no meio receptor.

SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS



2. CÁLCULO DE CAUDAIS PLUVIAIS

- **Métodos**
 - empíricos
 - semi-empíricos
 - conceptual
 - semi-conceptual

❖ **Método Racional** (semi-conceptual)

- **Mulvaney, 1851 e Kuickling, 1889** (posteriormente divulgada em Inglaterra por Lloyd-Davis)

$$Q_{\text{pluvial}} = C \times I \times A$$

sendo:

- Q_{pluvial} - caudal pluvial a drenar pelo colector (m^3/s)
- C - coeficiente de escoamento (-)
- I - intensidade de precipitação ($\text{m}^3/(\text{ha}.\text{s})$)
- A - área da bacia a drenar (ha)

HIPÓTESES DE BASE:

- **Linearidade entre a precipitação útil ($C \times I$) e o caudal de ponta (Q) \Rightarrow**
 - \Rightarrow ocorrência do caudal de ponta coincide com o instante em que a totalidade da bacia está a contribuir para o escoamento, ou seja, ao fim de um intervalo de tempo igual ao tempo de concentração, t_c
- **O único parâmetro representativo da relação precipitação-escoamento é o coeficiente C**
- **O coeficiente C engloba vários factores:**
 - relação entre o volume de água escoada e a precipitação
 - efeitos de retenção no solo
 - efeitos de regolfo e atraso do escoamento superficial no terreno, linhas de água naturais e colectores

que dependem

- das características físicas e de ocupação da bacia
- do estado de humidade do solo
- da duração e distribuição da precipitação antecedente

Estudos de Horner e Flynt (3 bacias de drenagem de águas pluviais da cidade de St. Louis, EUA)

↳ estudaram precipitações e caudais como fenômenos independentes.

Foi verificada uma certa constância, por bacia, entre precipitações e caudais da mesma frequência.



A fórmula racional tem um **significado estatístico** (e não determinístico) não sendo legítimo adoptá-la para o cálculo do caudal de ponta pluvial correspondente a um determinado hietograma típico, não uniforme.

Neste caso, deve-se recorrer a métodos mais sofisticados que considerem o caudal como um resíduo da precipitação. Estes métodos são também aconselháveis quando se pretenda gerar um hidrograma a partir de um determinado hietograma.

A intensidade de precipitação I deve ser avaliada para condições críticas (para $t = t_c$)

Para durações inferiores, nem toda a bacia contribui para o caudal de ponta máximo; para durações superiores, é menor a intensidade de precipitação logo menor o caudal correspondente.

Aplicação:

- **bacias com $A > 200$ a 2000 ha**
- **não vocacionado para bacias rurais ou semi-rurais**

Valores médios do coeficiente C do Método Racional (ASCE, Manual nº 37):

Tipo de ocupação	C
Comercial	
no centro urbano	0,70 - 0,95
nos arredores	0,50 - 0,70
Residencial	
habitações unifamiliares	0,30 - 0,50
prédios isolados	0,40 - 0,60
prédios geminados	0,60 - 0,70
suburbano	0,25 - 0,40
Industrial	
pouco denso	0,50 - 0,80
muito denso	0,60 - 0,90
Parques e cemitérios	0,10 - 0,25
Campos de jogos	0,20 - 0,40

Tipo de superfície	C
Pavimento	
asfáltico	0,70 - 0,95
betão	0,80 - 0,95
Passeios para peões	0,85
Coberturas (telhados)	0,75 - 0,95
Relvado sobre solo permeável	
plano < 2%	0,05 - 0,10
médio, 2% a 7%	0,10 - 0,15
inclinado > 7%	0,15 - 0,20
Relvado sobre solo impermeável	
plano < 2%	0,13 - 0,17
médio, 2% a 7%	0,18 - 0,22
inclinado > 7%	0,25 - 0,35

Intensidade de precipitação

$$I = a \cdot t^b$$

sendo:


t - tempo de concentração da sub-bacia


a, b - parâmetros da curva IDF


REGIÕES	A		B		C	
	a	b	a	b	a	b
2	202.72	-0.577	162.18	-0.577	243.26	-0.577
5	259.26	-0.562	207.41	-0.562	311.11	-0.562
10	280.68	-0.549	232.21	-0.549	348.82	-0.549
20	317.74	-0.538	254.19	-0.538	381.29	-0.538
50	349.54	-0.524	279.63	-0.524	419.45	-0.524
100	365.62	-0.508	292.50	-0.508	438.75	-0.508



REGIÕES PLUVIOMÉTRICAS

A  Curvas IDF Lisboa

B  Curvas IDF Lisboa (-20%)

C  Curvas IDF Lisboa (+20%)

$$I = at^b$$

I (mm/h)

t (min)

0 25 50 75 km

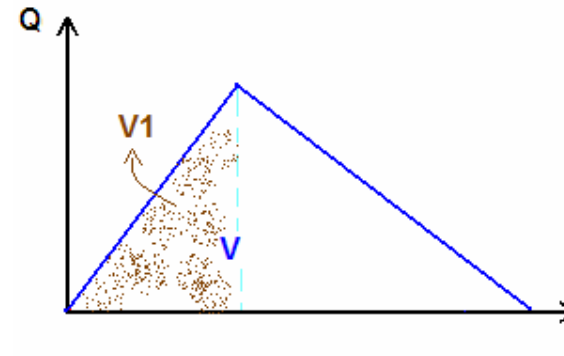
❖ Método Racional Generalizado

- Costa, 1956

$$Q = 2 \cdot \frac{V1}{V} \cdot \frac{t}{t_c} \cdot \gamma \cdot C \cdot I \cdot A$$

sendo,

- V1 - volume correspondente à parte ascendente do hidrograma (m³)
- V - volume total do hidrograma (m³)
- t - duração da precipitação de projecto (h)
- t_c - tempo de concentração da bacia (h)
- γ - coeficiente de regolfo.



2 V1/V - exprime o efeito de retenção e armazenamento: é mínimo em bacias naturais e máximo em bacias totalmente impermeáveis (em que iguala a unidade).

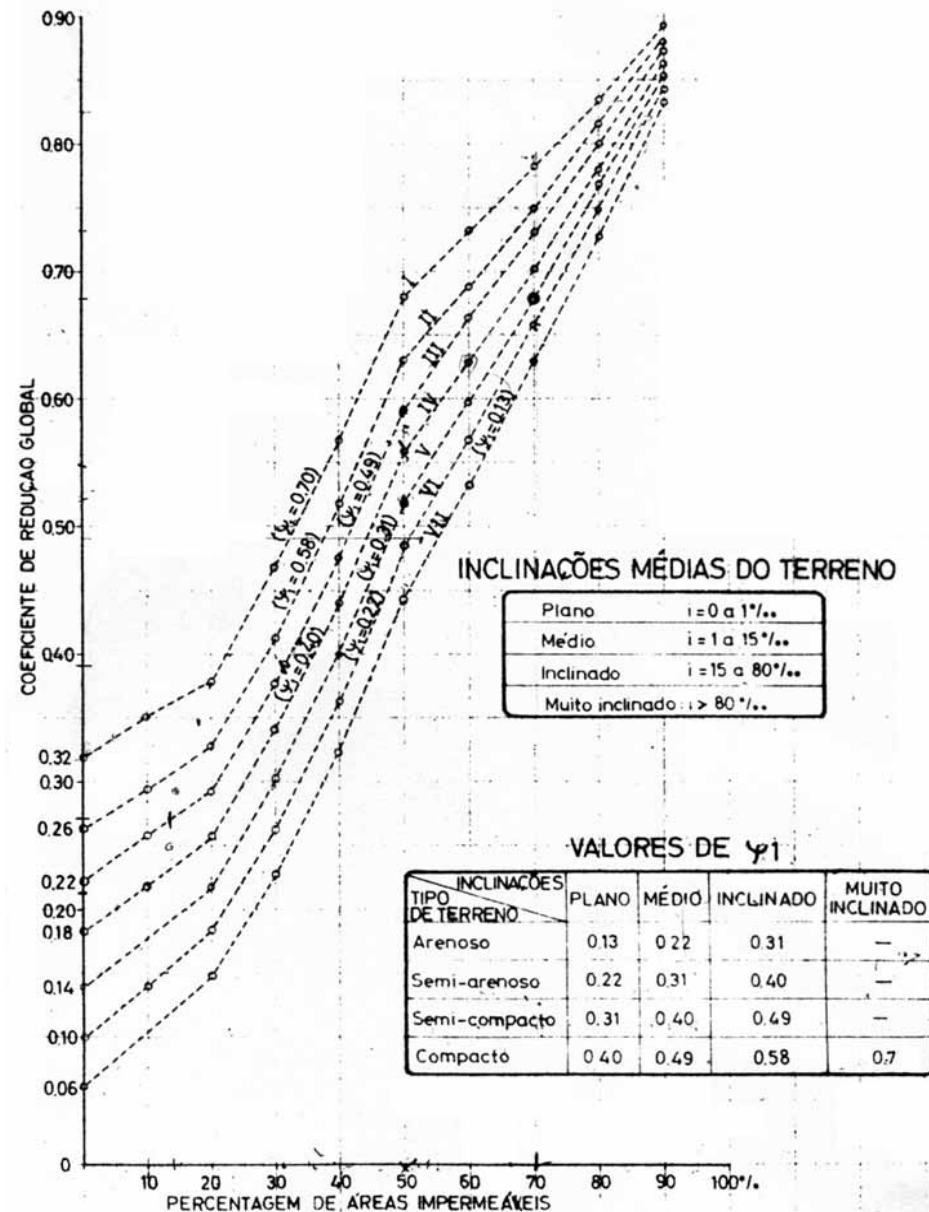
t/t_c - exprime o desfasamento entre o fim da chuvada e o instante em que se verifica o caudal de ponta: é mínimo para bacias naturais (onde toma o valor 0,7) e admite-se que iguale a unidade em bacias totalmente impermeáveis ou altamente canalizadas.

SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

Caudais

Coeficiente de redução global do método racional generalizado



$$C1 = C (2 v1/v) (t/tc)$$



3. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE COLECTORES

□ CRITÉRIOS DE PROJECTO

- Altura máxima do escoamento $\Rightarrow (h/D) \leq 1$
 - Velocidade máxima de escoamento $\Rightarrow V_{\text{máx}} = 5 \text{ m/s}$
 - Velocidade mínima de escoamento $\Rightarrow V_{\text{mín}} = 0,9 \text{ m/s}$
- (para colectores unitários ou separativos pluviais)


Critério de auto-limpeza 

Sendo inviáveis os limites referidos anteriormente, como sucede nos colectores de cabeceira, devem estabelecer-se declives que assegurem estes valores limites para o caudal de secção cheia.

- Profundidade mínima (Art. 137) $\Rightarrow \text{Prof.} \geq 1 \text{ m}$
- Diâmetro mínimo (Art. 134) $\Rightarrow D_{\text{mín}} = 200 \text{ mm}$
- Inclinações mínimas e máximas $\Rightarrow 0,3\%$ e 15% (por razões construtivas)

$J_{\text{mín}} = 1/ D \text{ (mm)}$  Norma Europeia

□ PROCEDIMENTO DE CÁLCULO



Dimensionamento de montante para jusante

as áreas **A** crescem sucessivamente
as intensidades **I** decrescem sucessivamente
os caudais **Q_p** crescem em regra sucessivamente

1 - Análise da área de projecto e traçado da rede em planta.

Caracterização de condicionalismos ⇒ (cotas e níveis de água no meio receptor, atravessamentos com outras infra-estruturas...)

2 - Fixação do período de retorno, **T.**

3 - Selecção da curva **IDF para a zona em estudo e para o período de retorno escolhido.**

4 - Definição das sub-bacias em cada secção de cálculo ⇒ área drenante **A**

5 - Determinação do coeficiente global médio ponderado para a bacia definida em cada secção de cálculo

$$C = (\sum_i C_i A_i) / \sum_i A_i$$

6 - Determinação do tempo de concentração, t_c

$$t_c = t_e + t_p \qquad t_p = \sum \frac{L_j}{V_j}$$

sendo:

- t_e - tempo de entrada
- t_p - tempo de percurso (tempo dispendido no percurso desde o dispositivo de entrada na rede até à secção de cálculo)
- L_j - comprimento do colector de ordem j (a montante da secção de cálculo);
- V_j - velocidade de escoamento (em regime uniforme) no colector de ordem j .

Tempos iniciais (para bacias de cabeceira):

Inclinação do terreno	AI < 50% (min)	AI > 50% (min)
muito inclinado	5.0	5.0
inclinado	10.0	7.5
médio e plano	15.0	10.0

7 - Determinação da intensidade média de precipitação I para uma duração igual ao t_c (a partir das curvas IDF)

$$I = a \cdot t^b$$

8 - Cálculo do caudal de projecto, por intermédio da seguinte expressão (método racional):

$$Q_p = \sum_i C_i \times A_i \times I$$

9 - Fixação do diâmetro e inclinação do colector, tendo em conta:

- a minimização de custos
- condicionalismos técnicos e regulamentares de implantação do colector (profundidade de assentamento mínima)
- satisfação dos critérios hidráulicos (capacidade de escoamento, velocidade máxima e poder de transporte)

10 - Determinação da velocidade, altura do escoamento e tensão de arrastamento no colector definido (D, i), em função do caudal de ponta

11- Determinação do tempo de percurso, t_p , ao longo do troço de colector considerado no passo 10º

12- Adição do tempo de percurso calculado no passo anterior ao tempo de concentração calculado no passo 6º.

13- Repetição de todos os passos de cálculo, de montante para jusante, a partir do passo 5º, para as sucessivas secções de cálculo.

SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

Colectores

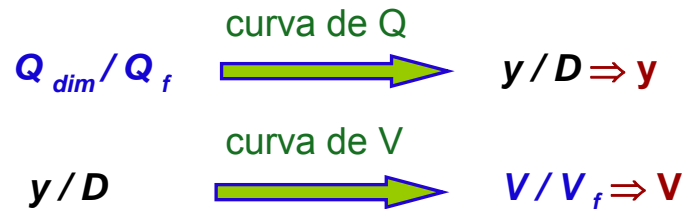
Características Hidráulicas do Escoamento

Conhecidos $i_{colector}$, D e Q_{dim} :

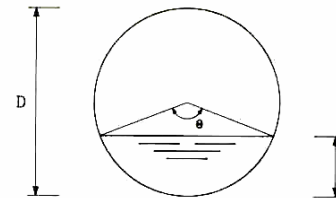
a) calcular Q_f e V_f

b) determinar a relação Q_{dim}/Q_f

c) utilizar o ábaco das propriedades hidráulicas das secções circulares:

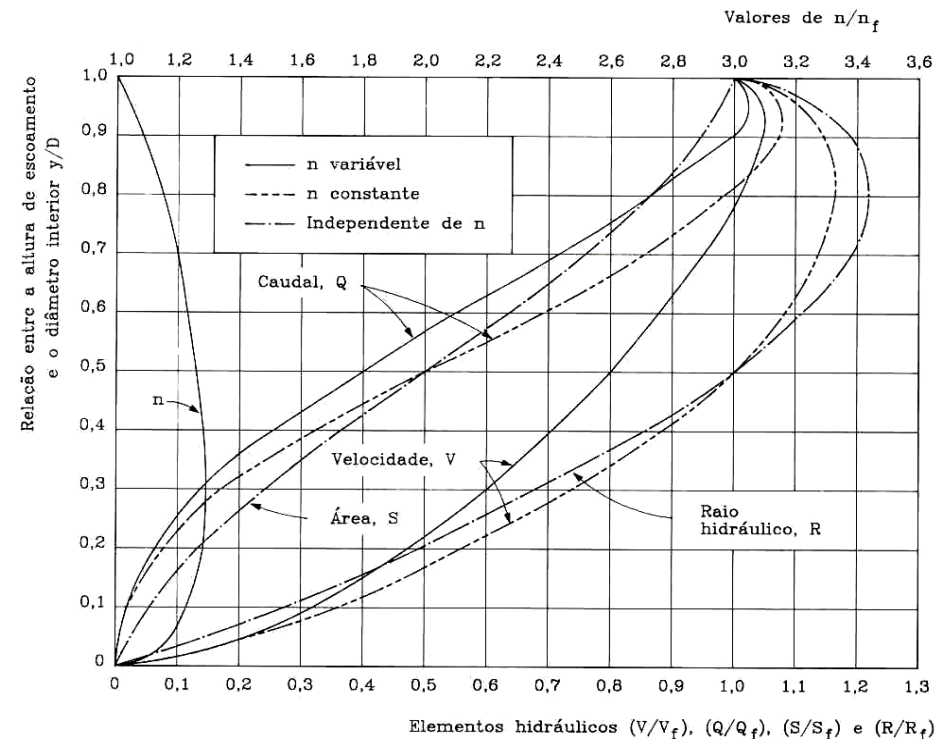


d) utilizar o ábaco das propriedades hidráulicas das secções circulares:



- (1) Diâmetro: D
 - (2) Ângulo ao centro: $\theta = 2 \arcsin(1 - 2y/D)$
 - (3) Altura de escoamento: $y = (1/2)(1 - \cos \theta/2) D$
 - (4) Área: $S = (1/8)(\theta - \sin \theta) D^2$
 - (5) Perímetro molhado: $P = 1/2 \theta D$
 - (6) Raio hidráulico: $R = (1/4)(\frac{\theta - \sin \theta}{\theta}) D$
- $0 \leq \theta \leq 2\pi$

$$\theta_{n+1} = \text{sen} \theta_n + 6,063 \left(\frac{Q}{K_s \sqrt{J}} \right)^{0,6} D^{-1,6} \theta_n^{0,4}$$



QUADROS DE CÁLCULO - Exemplos

Quadro 1 – Cálculo do coeficiente C para cada sub-bacia.

Sub-bacia [-]	A [ha]	i_b [%]	TT [-]	Ψ_1 [-]	AI [%]	C_1 [-]
B1	0.038	6.27%	SA	0.40	20%	0.26
B2	0.081	6.27%	SA	0.40	50%	0.56
B3	0.051	8.32%	C	0.70	20%	0.38
B4	0.307	1.80%	SA	0.40	90%	0.86

Quadro 2 – Parâmetros das curvas I-D-F.

Símbolo	Unidades	Valor
T	anos	10
a	-	290.68
b	-	-0.549

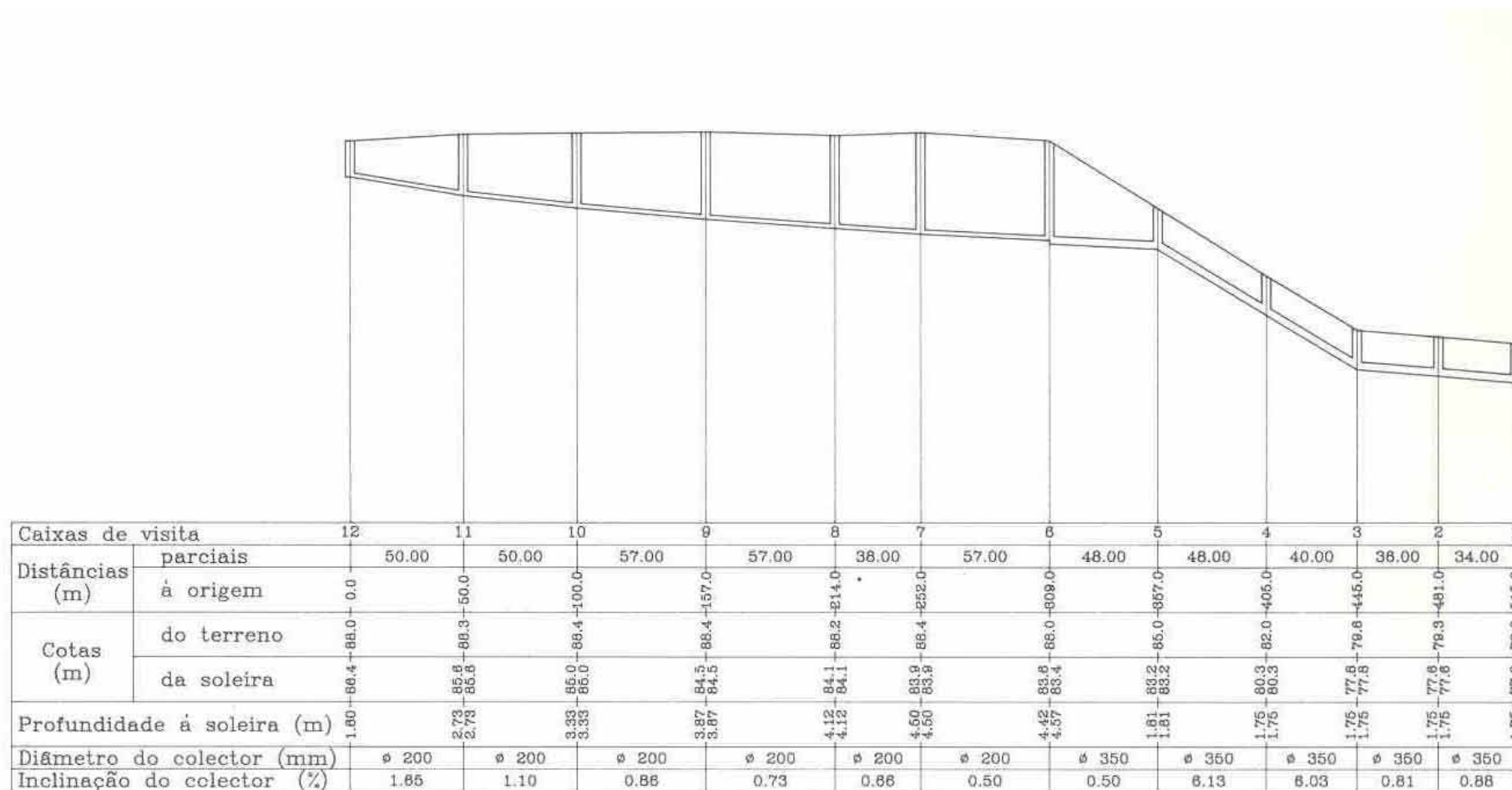
Quadro 3 – Dimensionamento hidráulico-sanitário de colectores.

Trecho [-]	Sub-bacias [-]	L [m]	ΣA_i [ha]	$\Sigma L_i \cdot A_i$ [m.ha]	C_{1p} [-]	V_{inic} [m/s]	t_i [min]	t_p [min]	t_c [min]	I [l/(ha.s)]	Q [l/s]	D_{aprox} [mm]	D_{com} [mm]	D_{int} [mm]	i [%]	Q_{sc} [l/s]	V_{sc} [m/s]	τ_{sc} [N/m ²]	V_{real} [m/s]
P12-P11	B1	32.85	0.038		0.26	2.00	10.00	0.27	10.27	224.74	2.23		300		1.065%	97.32	1.38	7.83	0.57
P11-P10	B1-B2	22.98	3.619		0.59	2.00	15.00	0.19	15.19	181.31	387.85		800		1.132%	1371.50	2.73	22.18	2.35
P10-P9	B1-B3	62.23	3.670		0.59	2.00	15.19	0.52	15.71	178.00	384.24		800		1.475%	1565.92	3.12	28.91	2.58
P9.4-P9.3	B4	22.07	0.307		0.86	2.00	7.50	0.18	7.68	263.59	69.56		400		0.306%	112.34	0.89	3.00	0.94
P9.3-P9.2	B4-B5	15.64	0.430		0.86	2.00	7.68	0.13	7.81	261.17	96.78		400		0.306%	112.34	0.89	3.00	1.01
P9.2-P9.1	B4-B5'	22.23	0.542		0.86	2.00	7.81	0.19	8.00	257.83	120.23		500		0.245%	182.19	0.93	3.00	0.99
P9.1.2-P9.1.1	B6	40.71	0.034		0.70	2.00	7.50	0.34	7.84	260.71	6.23		300		0.983%	93.46	1.32	7.22	0.75
P9.1.1-P9.1	B6	28.64	0.034		0.70	2.00	7.84	0.24	8.08	256.45	6.13		300		1.743%	124.49	1.76	12.81	0.91
P9.1.1.2-P9.1.1.1	B7	22.45	0.936		0.83	2.00	7.50	0.19	7.69	263.53	204.78		600		0.204%	270.45	0.96	3.00	1.05
P9.1.1.1-P9.1	B7-B8	33.58	0.984		0.83	2.00	7.69	0.28	7.97	258.41	211.42		600		0.204%	270.45	0.96	3.00	1.06

SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

Colectores

IMPLANTAÇÃO EM PERFIL LONGITUDINAL



SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

Colectores

Trechos com que arrancam com a profundidade mínima:

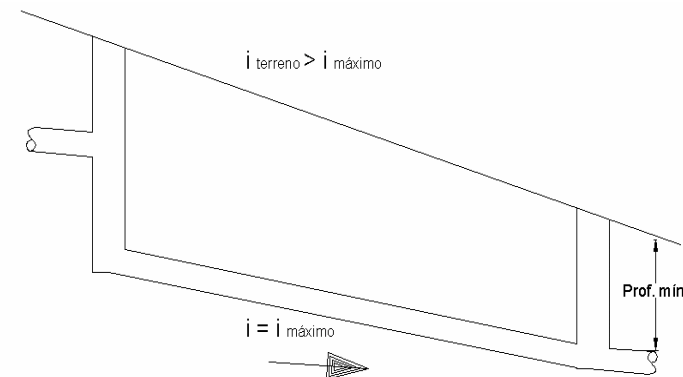
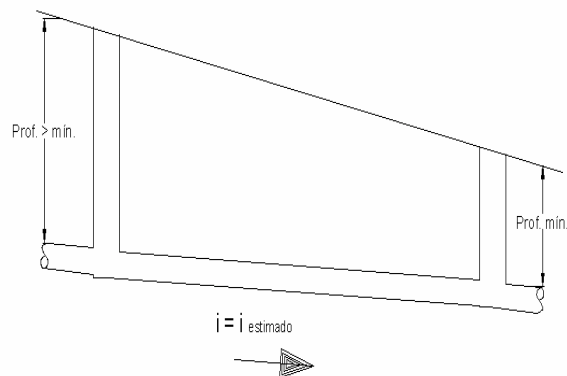
$$i_{\text{terreno}} < i_{\text{mínima}} \Rightarrow i_{\text{mínimo}}$$

Regra geral: $i_{\text{ideal}} < i_{\text{mínimo}} \Rightarrow i_{\text{mínimo}}$

$$i_{\text{mínimo}} < i_{\text{ideal}} < i_{\text{máximo}} \Rightarrow i_{\text{ideal}}$$

i_{ideal} - inclinação que se obtém unindo a cota de soleira da caixa de visita de montante, com a cota da caixa de visita de jusante a que corresponde a profundidade mínima.

Se $i_{\text{ideal}} > i_{\text{máximo}} \Rightarrow i_{\text{máximo}}$
e recorrer a uma **câmara de visita com queda**.



Se colector a montante estiver a uma profundidade superior à mínima, **adoptar um declive** que traga o colector, a jusante, para a **profundidade mínima** regulamentar ou a exequível, face ao $i_{\text{mínimo}}$ aceitável.

Diâmetro e outras regras do perfil longitudinal

❖ ART. 135º

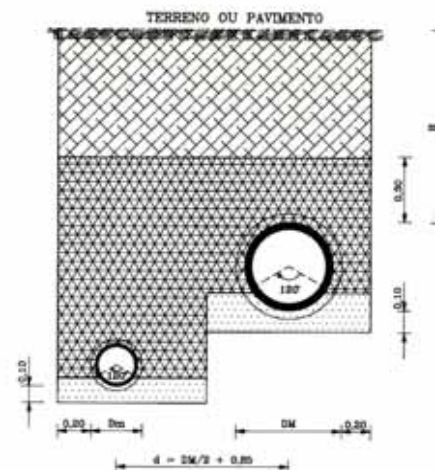
- Nas redes unitárias e separativas pluviais, pode aceitar-se a redução de secção para jusante, desde que se mantenha a capacidade de transporte.

❖ ART. 159º

- inserção de um colector noutra deve ser efectuado no sentido do escoamento
- alinhar geratrizes interiores superiores (evitar regolfos e entupimentos e garantir a continuidade da veia líquida)
- quedas simples (se desnível $\leq 0,50$ m) ou guiadas (se $> 0,50$ m)
- se a profundidade da câmara de visita exceder os 5 m, construir um patamar de segurança a meio, com passagens não coincidentes.

❖ ART. 26º a 28º

- Vala tipo:



■ DISPOSITIVOS INTERCEPTORES

Tipos de dispositivos

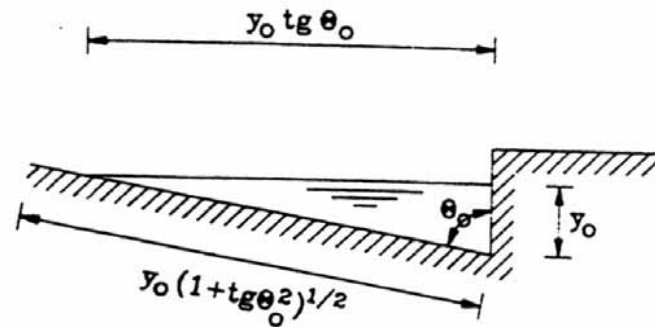
- Sarjetas de passeio
 - Sumidouros
 - Sistema conjunto sarjeta-sumidouro
- } Cabeceira
Percurso



Colocação de forma a:

- Serem cumpridos os critérios de escoamento de superfície:
 - Não transbordamento ($h < h_{\text{máx}}$)
 - Limitação da velocidade ($v < 3 \text{ m/s}$)
- Terem capacidade de interceptação adequada

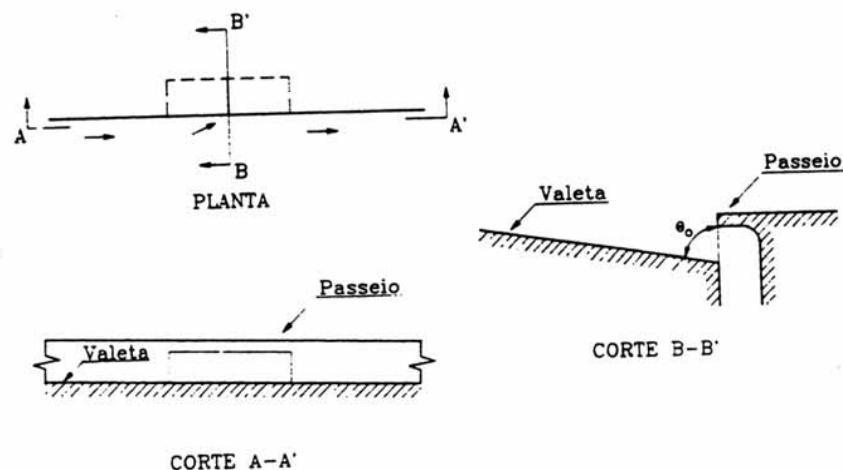
□ ESCOAMENTO DE SUPERFÍCIE EM VALETAS



- aplicada a expressão de Gauckler-Manning-Strickler: $Q_0 = A_0/N R^{2/3} i^{1/2}$
- arruamento com declive transversal constante
- admitindo que o perímetro molhado pode ser aproximado à largura superficial do escoamento
- admitindo escoamento em regime uniforme (se as secções de cálculo se situarem a jusante de troços de comprimento superior a 15m e com características geométricas aproximadamente constantes)

$$y_0 = 1,542 \times \frac{Q_0^{3/8} \times N^{3/8}}{\operatorname{tg} \theta_0^{3/8} \times J^{3/16}}$$

□ SARJETAS DE PASSEIO INSTALADA SEM DEPRESSÃO

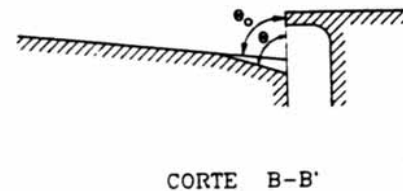
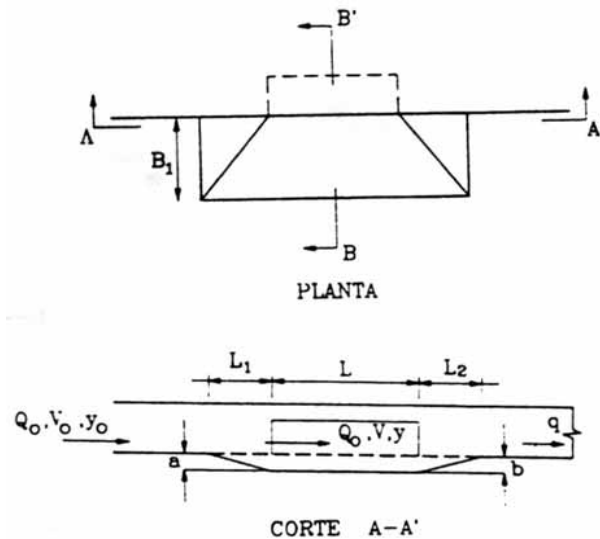


$$Q = L K y_0^{3/2} g^{1/2}$$

sendo,

- Q - caudal captado pela sarjeta (m^3/s);
- L - comprimento da boca da sarjeta (m);
- y_0 - altura uniforme do escoamento, a montante da sarjeta (m);
- g - aceleração da gravidade (m/s^2);
- K - constante empírica, função da inclinação transversal do arruamento, cujo valor é 0,23 ou 0,20 (para $i = 8\%$ ou $i = 2$ a 4% , respectivamente).

□ SARJETAS DE PASSEIO INSTALADA COM DEPRESSÃO



$$L_1 \geq 10 \times a$$

$$L_2 = 4 \times a$$

$$Q = L (K+C) y_0^{3/2} g^{1/2}$$

$$F = V^2 / (g y)$$

$$M = LF / (a \tan \theta)$$

$$C = 0,45 / 1,12^M$$

sendo,

- a - valor da depressão (≤ 3 cm – para não afectar as rodas dos veículos);
- θ - ângulo que o plano do pavimento forma com o do lancil do passeio (graus);
- y - altura do escoamento na extremidade de montante da sarjeta(m);
- V - velocidade média do escoamento escoamento y (m/s);
- F - número de Froude do escoamento na depressão.

- Y e V \Rightarrow determinadas recorrendo ao teorema de Bernoulli:

$$\frac{Q^2}{(2g \cdot A_0^2)} + y_0 + a = \frac{Q^2}{(2g \cdot A^2)} + y$$

SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

Disp. Intercep.

Procedimento de cálculo:

1. Calcular $A_0 = \frac{y_0^2 \times \text{tg}\theta_0}{2}$ e $V_0 = \frac{Q_0}{A_0}$

2. Calcular $\text{tg}\theta = \frac{B_1}{B_1 / \text{tg}\theta_0 + a}$

3. Calcular área A e a altura do escoamento na depressão, y , resolvendo em simultâneo e iterativamente as expressões seguintes:

$$A = \frac{B_1^2}{2 \times \text{tg}\theta_0} + \left(y - \frac{B_1}{\text{tg}\theta}\right) \times B_1 + \left(y - \frac{B_1}{\text{tg}\theta}\right)^2 \times \frac{\text{tg}\theta_0}{2}$$

(secção composta)

$$\frac{V_0^2}{2 \cdot g} + y_0 + a = \frac{Q_0^2}{g \times y^2 \times \text{tg}\theta} + y$$

(aplicação do teorema de Bernoulli generalizado)

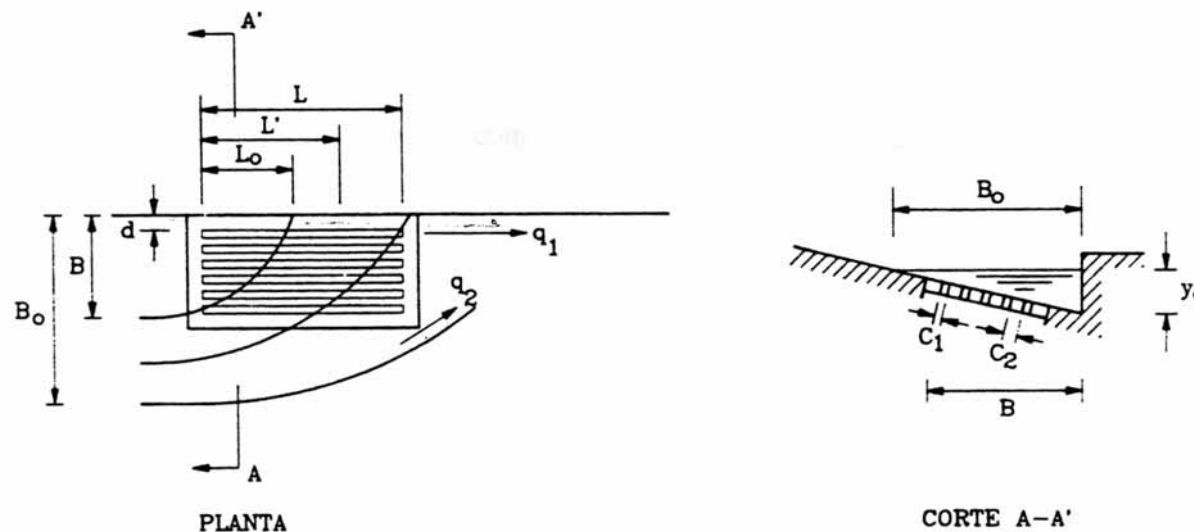
(verificar que y corresponde ao regime lento)

4. Calcular velocidade média do escoamento na depressão: $V = \frac{Q_0}{A}$

5. Calcular $Q = L \times (K+C) \times y_0^{3/2} \times g^{1/2}$

6. Calcular eficiência hidráulica da sarjeta: $Ef = Q/Q_0 \times 100$

□ SUMIDOUROS INSTALADOS SEM DEPRESSÃO



Comprimento mínimo necessário (assegurar comportamento eficiente \Rightarrow
 \Rightarrow caudal escoado sobre a grelha que prossegue para jusante, q_3 , é nulo):

$$L_0 = m V_0 (y_0/g)^{1/2}$$

sendo,

- L_0 - comprimento útil do sumidouro (m);
- m - constante empírica: $m=4$ se a grade do sumidouro não contiver barras transversais; $m=8$, no caso se ter três daquelas barras.

Procedimento de cálculo:

1. Calcular y_0 , A_0 e V_0 .

2. Calcular $L_0 = m \times V_0 \times (y_0/g)^{1/2}$

3. Calcular $y' = y_0 - B / \text{tg}\theta_0$ e $L' = 1,2 \times \text{tg}\theta_0 \times V_0 \times (y'/g)^{1/2}$

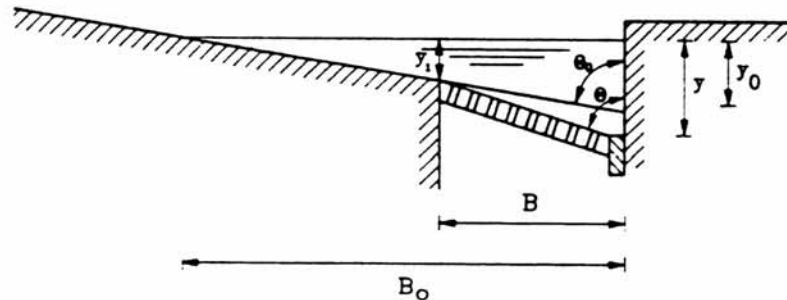
4. Calcular $q_1 = 6,0 \times V_0^2 \times d^3 \times (y_0 / g)^{1/2} / L^2$ (caudal escoado entre a primeira abertura da grade e o passeio)

$q_2 = (L' - L)/4 \times g^{1/2} \times y'^{3/2}$ (caudal escoado sobre o arruamento)

7. Calcular $Q = Q_0 - q$ e $q = q_1 + q_2 + q_3$

8. Calcular eficiência hidráulica do sumidouro: $Ef = Q/Q_0 \times 100$

□ SUMIDOUROS INSTALADOS EM VALETA REBAIXADA



Para que o caudal q_2 , proveniente de escoamento exterior à grade sobre o arruamento, se anule, é necessário que o sumidouro tenha um comprimento superior a valor crítico (L').

Procedimento de cálculo:

1. Calcular $\text{tg}\theta$, (substituir a variável B_1 pela largura B .)
2. Arbitrar a altura do escoamento y e calcular y^* , P_0 , A_0 , e Q_0 até que este caudal tome o valor desejado:

$$y^* = y - B / \text{tg}\theta$$

$$P_0 = y + B + y^* / \cos \theta_0$$

$$A_0 = B^2 / (2 \times \text{tg}\theta) + y^* \times (B + y^* \times \text{tg}\theta_0 / 2)$$

$$Q_0 = (1/N) \times (A_0^{5/3} / P_0^{2/3}) \times J^{1/2}$$

SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

Disp. Intercep.

3. Calcular V_0 e L_0 (substituir y_0 por y)

4. Calcular L' (substituir θ_0 por θ)

5. Calcular

$$q_1 = 6,0 \times V_0^2 \times d^3 \times (y_0 / g)^{1/2} / L^2 \quad (\text{caudal escoado entre a primeira abertura da grade e o passeio})$$

$$q_2 = (L' - L)/4 \times g^{1/2} \times y^{3/2} \quad (\text{caudal escoado sobre o arnuamento})$$

9. Calcular $Q = Q_0 - q$ e $q = q_1 + q_2 + q_3$

10. Calcular eficiência hidráulica do sumidouro: $Ef = Q/Q_0 \times 100$

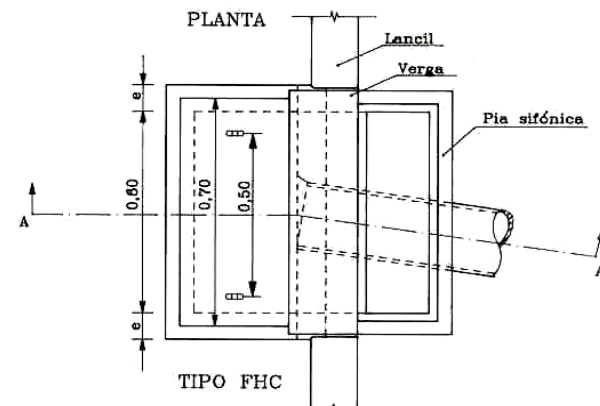
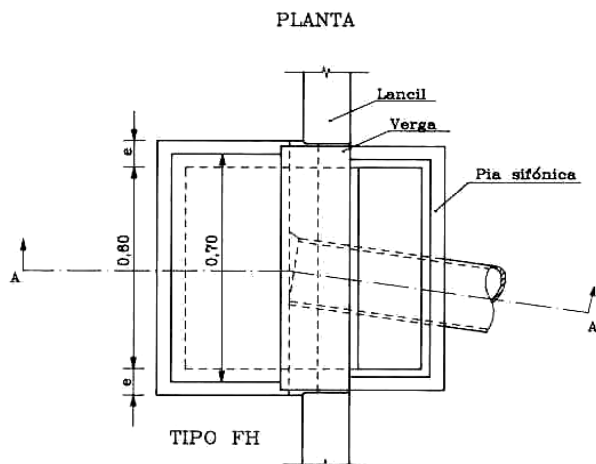
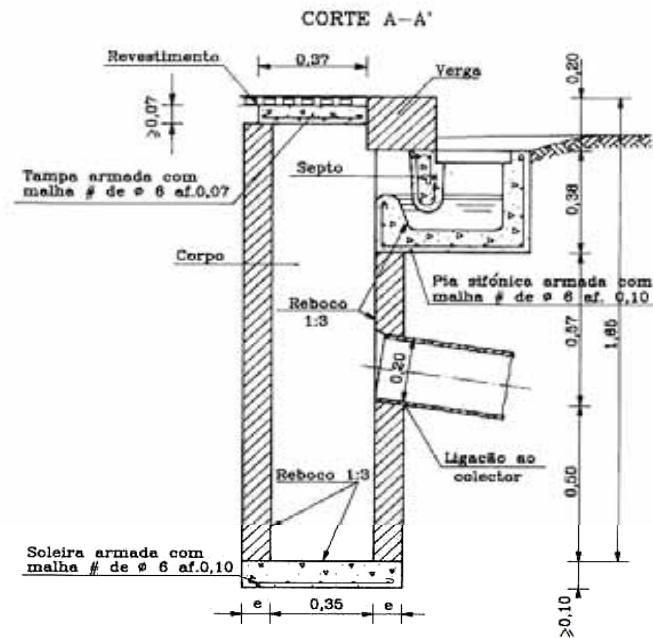
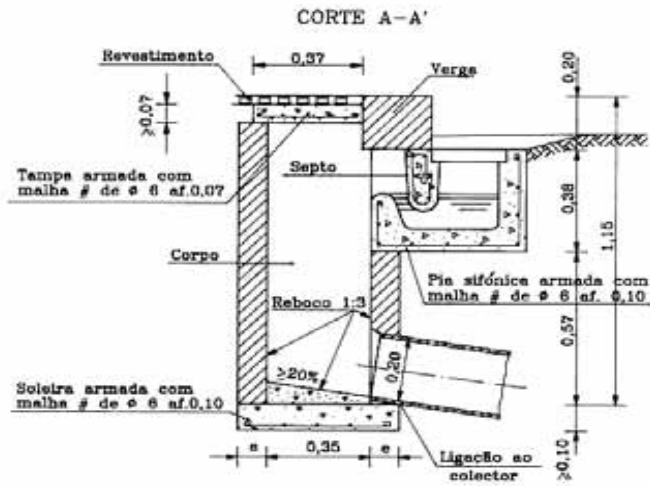
SÍNTESE

- Sarjetas devem ser **rebaixadas** ($Q < 20$ l/s, em regra)
- Sumidouros simples \Rightarrow para $Q < 50$ l/s
- Sumidouros duplos \Rightarrow para $Q < 100$ l/s

INTRODUÇÃO À DRENAGEM URBANA

Disp. Intercep.

Desenhos tipo (exemplos)



■ BACIAS DE RETENÇÃO

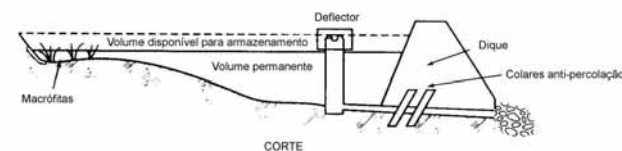
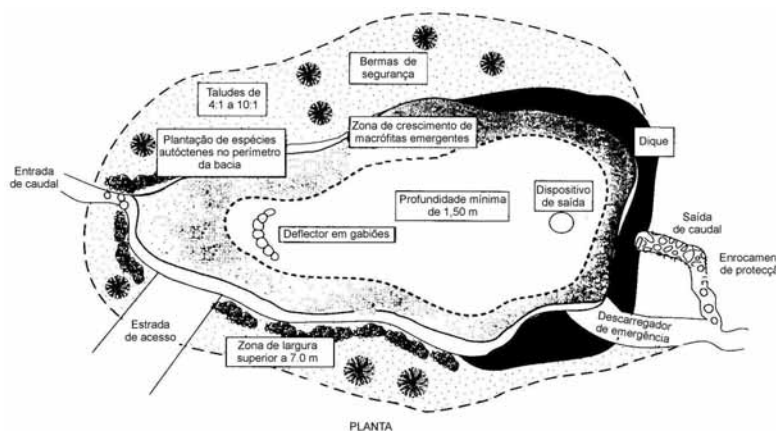
❖ Vantagens

- Custo
- Flexibilidade de ampliação



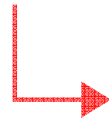
❖ Objectivos – ART. 176º

- redução dos riscos de inundação
- criação de zonas de lazer (para a pesca e canoagem...)
- criação de reservas de água (agricultura, combate a incêndios, indústria, limpezas municipais - arruamentos e parques...)
- protecção do meio ambiente (redução de SST e matéria orgânica)



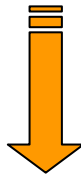
❖ Tipos – ART. 177º

- quanto à localização | - bacias em série (“on-line” e “off-line”)
- bacias em paralelo



(relativamente ao colector ou vala de acesso)

- quanto à implantação | - bacias a céu aberto → a seco
→ com nível de água permanente
- bacias enterradas (reservatórios)



A seco ou não? Opção em função de:

- objectivos (qualidade da água, recreio,...)
- nível e flutuações sazonais do aquífero subjacente
- permeabilidade
- disponibilidades financeiras

**Bacias a seco ⇒ menores exigências em termos construtivos financeiros
não requerem níveis freáticos elevados (“alimentação constante”)**

❖ Constituição – ART. 178º

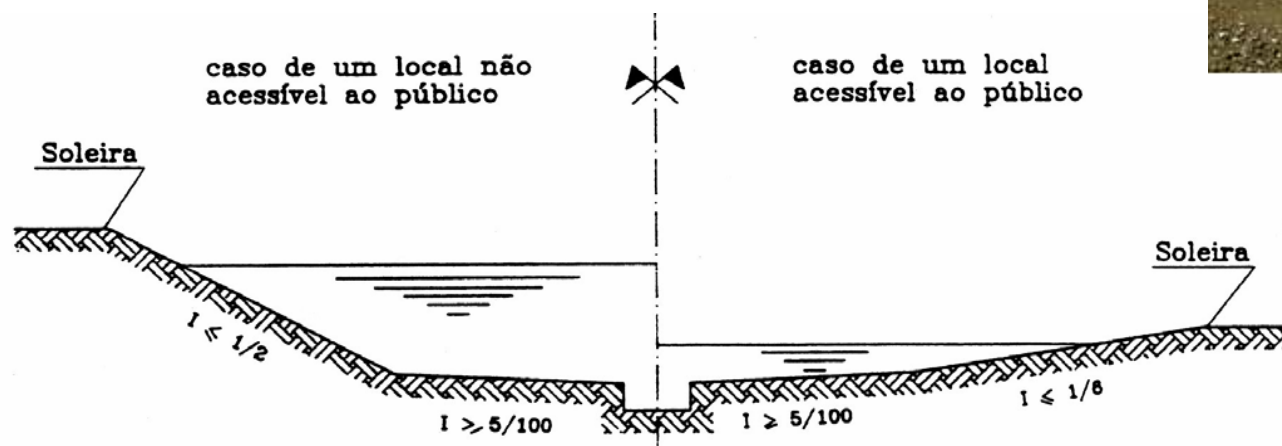
- **Corpo da bacia** ■■ ■■ **fundo e bermas de terra**
■■ ■■ **taludes revestidos com cobertura vegetal** (integração paisagística)
- **Dispositivos de descarga** ■■ ■■ **descarga de fundo**
■■ ■■ **obra de entrada e de saída**
■■ ■■ **colector**
- **Dispositivos de segurança** ■■ ■■ **descarregador de superfície**

❖ Implantação da bacia de retenção

- **aproveitar zona com depressão natural (aprofundar!)**
- **à entrada da bacia de retenção ⇒ construir uma câmara em betão (evitar o descalçamento da conduta e/ou a sua obstrução com terra e outros sedimentos)**
- **traçar perfis transversais e longitudinais para construir a curva de volumes armazenados (calcular volume de água armazenado para diversas alturas de água)**
- **verificar para que altura de água se assegura o volume de dimensionamento**

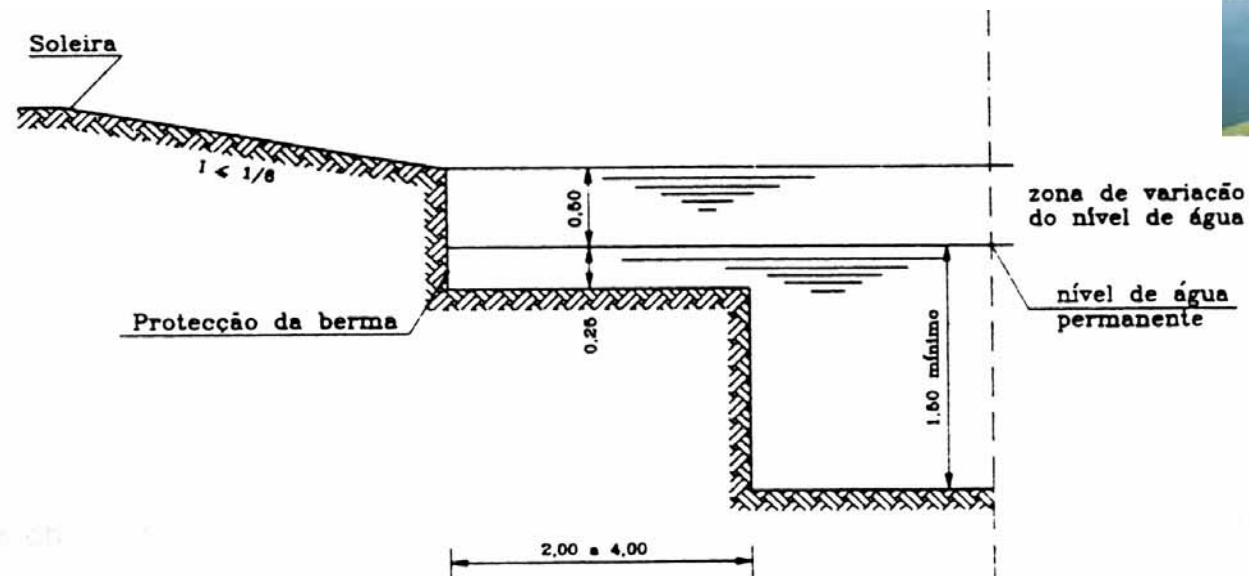
❖ Aspectos construtivos – ART. 180º

Bacia a seco



- **inclinação do fundo $\geq 5/100$** (evitar a formação de zonas alagadas);
- **inclinações máximas dos taludes das bermas de $1/6$ ou $1/2$**
(respectivamente para os casos de acesso público ou não).

Bacia com nível de água permanente:



- altura de água mínima de 1,5 m (evitar um excessivo desenvolvimento de plantas aquáticas e de assegurar eventual vida piscícola)
- garantir um tratamento conveniente das bermas (**taludes relvados**, etc...)

❖ Qualidade da água

- Melhoria da **qualidade das águas** afluentes
- Ocorrem transformações de **natureza física, química e microbiológica**

Efeitos típicos:

- **sedimentação dos sólidos em suspensão** ⇒ redução da turvação da água
- **variação do OD da massa líquida** ⇒ balanço entre os “*inputs*” (rearejamento e fotossíntese) e o consumo
- **variação da concentração de nutrientes (N, P)** ⇒ efeito das plantas
- **redução de microrganismos** ⇒ radiação solar, competição biológica, temperatura e sedimentação



❖ Dimensionamento hidráulico – ART. 179º

- **Objectivo:** determinar o volume de armazenamento necessário para que o respectivo caudal efluente seja semelhante ao que ocorreria na bacia natural (AI = 0 %).
- **T = 10 a 50 anos** (usualmente)

Método simplificado (ABREU, 1983) ou método holandês

- **Baseia-se no conhecimento das curvas IDF da precipitação na zona em estudo**
- **Permite calcular o volume necessário** para armazenar o caudal afluente resultante da **precipitação crítica**, de período de retorno **T**, **para garantir um caudal constante q**, correspondente à **capacidade máxima de vazão da estrutura de drenagem a jusante**.
- **Método expedido** ⇒ adequado ao **pré-dimensionamento** da bacia de retenção.
- **Dados:** **A, C da bacia drenada**
parâmetros da curva IDF
caudal efluente q (constante) ⇒ procedimento não conservativo

$$V = 10 \times A \times C_1 \times \left(\frac{-b \times q_s}{1+b} \right) \times t_c$$

$$q_s = 6 \times 10^{-3} \times \frac{q}{C_1 \times A}$$

$$q = C \times I \times A = C \times a \cdot t_c^b \times A$$

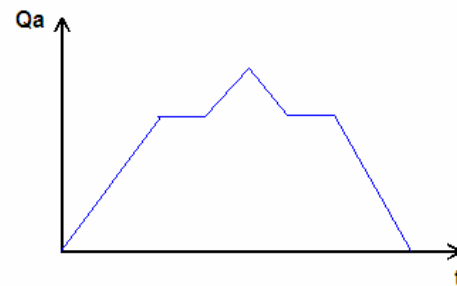
$$t_c = \left(\frac{q_s}{a \times (1+b)} \right)^{1/b}$$

sendo,

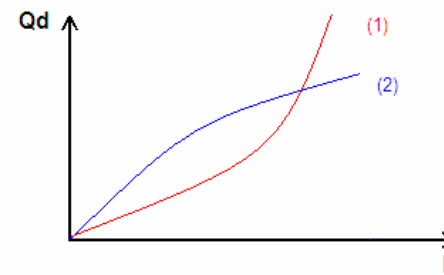
- q_s - caudal específico efluente considerado constante [mm/min];
- q - caudal efluente da bacia natural (calculado com I expresso em mm/h) [L/s];
- t_c - duração da precipitação crítica (é a duração da precipitação que conduz a uma maior necessidade de armazenamento) para o período de retorno considerado [min];
- A - área total da bacia afluyente [ha];
- C_1 - coeficiente de redução global da bacia impermeabilizada [-];
- C - coeficiente de redução global da bacia natural (logo $AI = 0\%$ - gráfico do método racional generalizado) [-];
- a, b - parâmetros da curva IDF, expressa por $I = a \cdot t_c^b$ dado em mm/min (logo há que dividir o parâmetro a por 60 min) [-].

Método de PULS

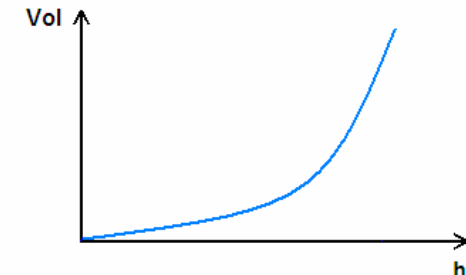
- Baseia-se na resolução numérica da equação da con-ser-vação dos volumes ou equação de continuidade aplicada à bacia de retenção
- Permite resolver as situações mais complexas (ex.: não constância do caudal descarregado)
- Dados:
 - hidrograma de escoamento de entrada ou afluente
 - lei de descarga do caudal efluente
 - lei de armazenamento



Hidrograma crítico afluente



Lei de vazão ou da descarga



Lei de armazenamento

$$\Delta V = V_e - V_s \Leftrightarrow V_{h,i+1} - V_{h,i} = \left(\frac{Q_{a,i} + Q_{a,i+1}}{2} \cdot \Delta t \right) - \left(\frac{Q_{d,i} + Q_{d,i+1}}{2} \cdot \Delta t \right) \quad \text{logo } \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underbrace{(Q_{a,i} + Q_{a,i+1} - Q_{d,i}) \cdot \Delta t + 2 \cdot V_{h,i}}_{\text{Termos conhecidos}} = \underbrace{Q_{d,i+1} + 2 \cdot V_{h,i+1}}_{\text{Função de } h_{(i+1)}, \text{ a única incógnita}}$$

SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

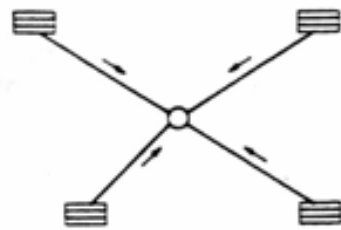


■ CÂMARAS DRENANTES

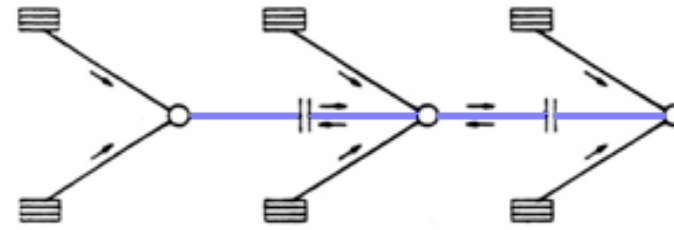
❖ Finalidade

- armazenamento e infiltração das águas pluviais;
 - ➔ solução económica e eficaz, adequada a zonas de solo permeável;

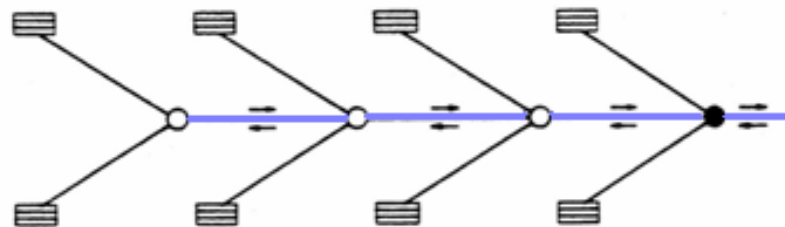
❖ Tipos



a) Sistema com uma câmara drenante e sumidouros



b) Sistema com câmaras drenantes e sumidouros interligados



c) Sistema com câmaras drenantes, interligado com sistema de drenagem convencional

Simbologia

- - câmara drenante
- - câmara de visita convencional
- ≡ - sumidouro
- - ramal de ligação
- (blue) - colector

SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS *Câm. Drenantes*

❖ Capacidade (factores de que depende)

- dimensão da bacia a drenar;
- características pluviométricas da zona em estudo;
- grau de impermeabilização do solo;
- declive médio da bacia drenada;
- condutividade hidráulica dos solos.

→ caudais percolados aumentam com o incremento de carga de água no interior das câmaras (na ausência de colmatações).

❖ Desvantagens

- não se adequa a solos argilosos, silteosos ou areno-silteosos
- risco de **contaminação dos aquíferos** provocado por mistura das águas residuais com águas pluviais
- elevados **encargos** associados à manutenção e exploração (limpeza periódica)
- elevada **dificuldade de reabilitação**

SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS *Câm. Drenantes*

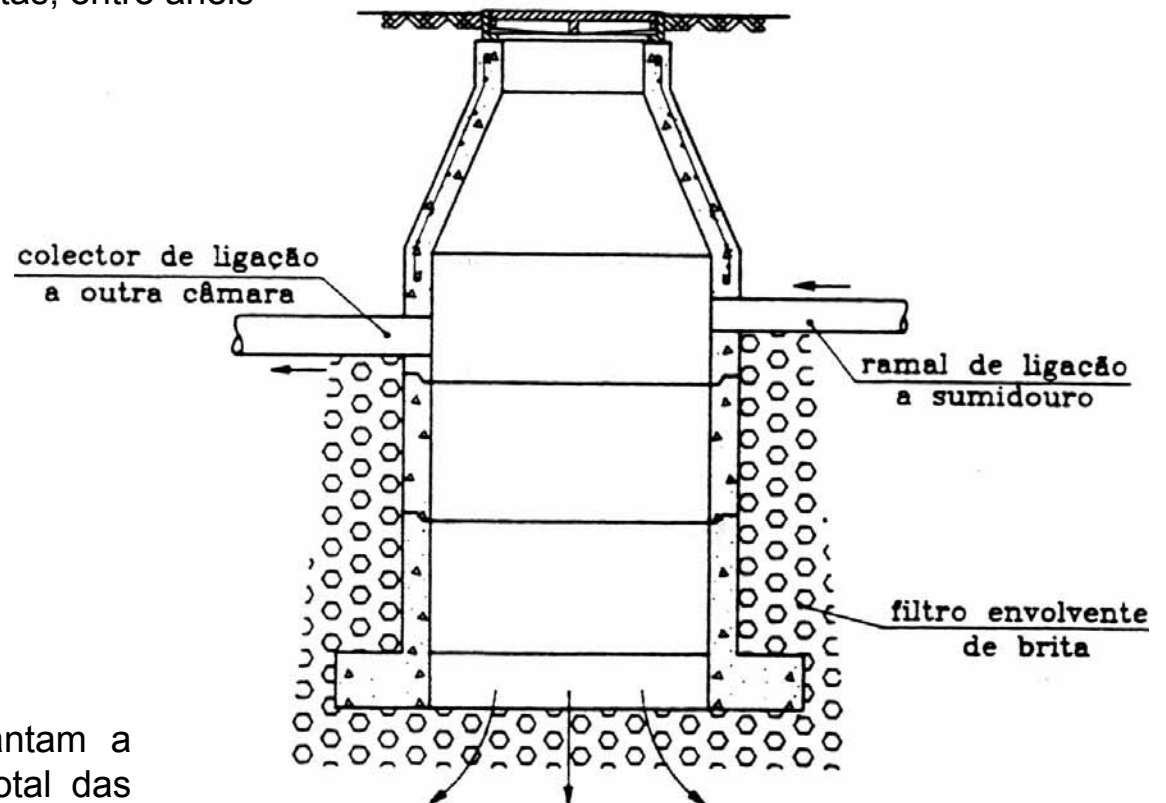
❖ Constituição

- anéis pré-fabricados
- construídas cuidadosamente
 - percolações pelo fundo
 - infiltrações pelas juntas, entre anéis
- devem ser visitáveis

➔ localizadas em zonas de cotas de terreno \approx iguais

➔ ramais de ligação

- inclinação mínima de 1/D (assegurar auto-limpeza)
- colocados a cotas que garantam a mobilização da capacidade total das câmaras drenantes



SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS *Câm. Drenantes*

❖ Dimensionamento hidráulico

Hipóteses admitidas

- linearidade entre a carga hidráulica no fundo da câmara e o caudal percolado
- aplicação do método racional generalizado para determinação do máximo caudal (para um dado **T**)
- constância no caudal afluente a cada câmara durante a precipitação crítica e na respectiva intensidade de precipitação
- enchimento total da câmara, no caso da ocorrência da precipitação crítica

Expressões de cálculo (ESCRITT, 1947)

$$A_1 = C a A (12 \times 10^4 h)^b / p^{(1+b)}$$

$$t_c = [PA_1 / (aCA)]^{1/b}$$

sendo,

- C - coeficiente do método racional (ou do método racional generalizado);
- a, b - parâmetros da curva IDF da região;
- h - altura útil da câmara, admitida com secção constante (m);
- t_c - duração da precipitação crítica (min) – *em regra, diferente do tempo de concentração da bacia afluente;*
- P - taxa máxima de percolação na câmara (mm/h);
- A_1, A - áreas, respectivamente, da secção da câmara e da bacia drenada (m²).

SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS *Câm. Drenantes*

Metodologia de cálculo

- 1) Determinar C1 (ábaco do Método Racional Generalizado).
- 2) Admitir taxa de percolação máxima do solo (valor médio – por exemplo, $P = 3600$ mm/h).
- 3) Calcular A_1 e tc.
- 4) Calcular o número de câmaras drenantes necessárias:
$$n = \frac{4 \cdot A_1}{\pi D^2}$$

(ex.: diâm. câmaras drenantes = 2 m; prof. = 3 m; diâm. colectores = 200 mm)

NOTA: Seleccionar **P**, taxa máxima de percolação, após a análise de ensaios *in situ*, efectuados em condições de saturação do solo, nas condições de máxima carga hidráulica que se espera venha a ocorrer na câmara. Considerar um valor de **P** inferior aos valores medidos, tendo em conta a possível colmatção parcial do solo, sob a câmara.

Se a câmara de drenante estiver bem dimensionada, e em condições de ocorrência da precipitação crítica, ao atingir-se a carga máxima correspondente à plena capacidade da câmara, o caudal percolado iguala o caudal afluente.

MODELAÇÃO DE SISTEMAS DE SANEAMENTO

