

UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente
M^o Rosário Cameira / Departamento de Eng^a Biosistemas



**Eng^a da
Água**

Aspectos hidráulicos das ETARs



ASPECTOS HIDRÁULICOS DAS ETARS



- ❑ Medição de caudais;
- ❑ Estações elevatórias;
- ❑ Equalização de caudais;
- ❑ Tanques de sedimentação;
- ❑ Descarregadores de *outflow*;
- ❑ Perdas de carga;
- ❑ Perfil hidráulico;

1

UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente
M^o Rosário Cameira / Departamento de Eng^a Biosistemas

Aspectos hidráulicos das ETARs

Seleção de aplicações da Hidráulica/Mecânica de Fluidos
às Estações de Tratamento de Águas Residuais

- ❑ Medição de caudais;
- ❑ Estações elevatórias;
- ❑ Equalização de caudais;
- ❑ Tanques de sedimentação;
- ❑ Perdas de carga;
- ❑ Perfil hidráulico;
- ❑ Descarregadores de *outflow*

2

Aspectos hidráulicos das ETARs

Várias aplicações hidráulicas estão localizadas na secção da ETAR denominada de **Obras de Entrada**.

Corresponde a um conjunto de unidades de operação localizadas na extremidade de montante da ETAR.

Incluem a estação de bombagem, o controlo, a equalização e a medição de caudais, e um conjunto de operações geralmente designados de tratamento preliminar.

Esta sucessão de etapas tem como objectivo **assegurar o melhor funcionamento dos órgãos de tratamento a jusante**, evitando o desgaste precoce de determinados tipos de equipamentos como consequência dos efeitos nocivos de alguns constituintes da água residual.

3

Aspectos hidráulicos das ETARs

☐ Operações preliminares

Destinam-se a **remover materiais sólidos de grande dimensão**, protegendo as unidades de tratamento a jusante e melhorando o seu desempenho.

NÍVEL DE TRATAMENTO	ORIENTAÇÕES/PROCESSOS/TIPOS
PRELIMINAR	GRADAGEM TAMISAÇÃO ou PENEIRAÇÃO DESARENAÇÃO DESENGORDURAMENTO
PRIMÁRIO	DECANTAÇÃO
SECUNDÁRIO	LAMAS ACTIVADAS (Tanques de arejamento) LEITOS PERCOLADORES LAGUNAGEM BIOFILTROS DISCOS BIOLÓGICOS
TERCIÁRIO	REMOÇÃO DE NUTRIENTES (N, P) DESINFECÇÃO POR CLORO, RADIAÇÃO UV, ... etc.

4

➤ **Gradagem:**

Remoção de papeis, plásticos, fibras e outros sólidos de grandes dimensões



- Localização do equipamento: a montante da câmara de desarenação



Grelha de limpeza mecânica automática

Nomenclatura para grelhas

Type	Typical opening	Typical use
Trash racks	40-150 mm	To prevent logs, stumps, and large heavy debris from entering treatment processes. Principally used in combined sewers ahead of pumping units. In WWTPs, frequently followed by coarse screens.
Bar racks or coarse screens	6-75 mm	To remove large solids, rags, and debris. Typically used in WWTP.
Fine screens	1.5-6 mm	To remove small solids. Typically follows a coarse screen.
Very fine screens	0.25-1.5 mm	To reduce suspended solids to near primary treatment level. Typically follow a coarse screen and/or fine screen. May be used when downstream processes do not include primary treatment.
Microscreens	1µm-0.3 mm	Used in conjunction with very fine screens for effluent polishing.

Sources: Daucks, 2006, WEF, 1998.

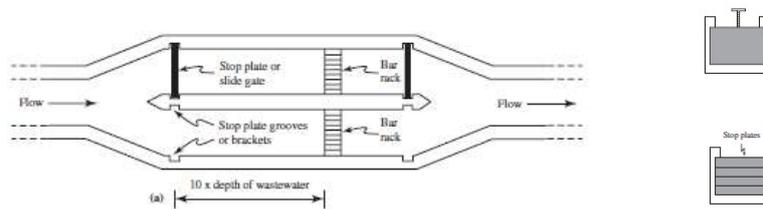


Gradagem na ETAR de Alcântara (27/05/2015)

Grades de autolimpeza mecânica em canal de aproximação coberto para minimização de odores

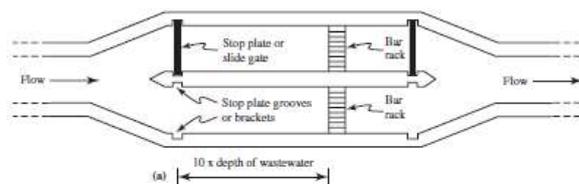
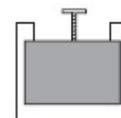
A. Canal

- Para o caudal médio, a velocidade de escoamento da água residual no canal onde está instalada a grelha/filtro deverá ser de, pelo menos, 0.4 m s^{-1} para minimizar a deposição de sólidos;
- A velocidade do escoamento através da grelha/filtro deve ser menor do que 0.9 m s^{-1} para o pico de caudal, de modo a minimizar a passagem dos sólidos através da grelha;
- Regulação da velocidade:
 - Colocação de um descarregador de *Parshall* a jusante;
 - Colocação de sensores do nível de água;
 - Dimensionamento do canal de aproximação com maior largura na zona da grelha.



7

- O canal deve ser dimensionado para que o escoamento ocorra com a velocidade desejada, em regime uniforme.
- Pelo princípio da redundância, devem existir **dois canais** que podem funcionar de modo independente com recurso a comportas de adufa;
- Os canais são geralmente construídos **em betão**;
- O rasto do canal na secção inicial deve estar localizado **75 a 150 mm abaixo do rasto do colector afluente**;
- O canal não deve apresentar mudanças e direcção e deve ser **perpendicular à grelha/filtro a partir de uma distância que deve ser 10 x a profundidade de escoamento (Metcalf & Eddy, 1972)**.



8

UC Eng^a Água ZR / 2º ciclo de Eng Ambiente M^a Rosário Cameira / Departamento de Eng^a Biossistemas

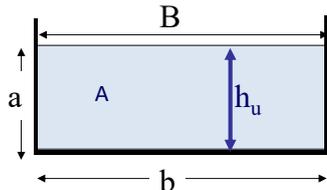
- As dimensões do canal são escolhidas de modo a originarem velocidades de escoamento desejadas;

A relação entre a velocidade e as restantes variáveis é geralmente calculada pela **equação de Manning aplicada ao regime uniforme em canal de secção rectangular**

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} j^{\frac{1}{2}}$$

Onde R é o raio hidráulico (m), v a velocidade média na secção de escoamento (m s⁻¹), j o declive (m m⁻¹) e n o coeficiente de rugosidade que para o betão liso toma o valor de 0.012.

Equações geométricas da secção transversal



$a = h_u$ e $b = B$

$A = bh$

$P = b + 2h$

$R = \frac{A}{P} = \frac{bh}{b + 2h}$

b = B - largura do rasto = largura à superfície (m)
 a - comprimento molhado do talude (m)
 h_u - altura uniforme de escoamento ou tirante (m)
 A - área molhada (m²)
 P - perímetro molhado (m)

9

UC Eng^a Água ZR / 2º ciclo de Eng Ambiente M^a Rosário Cameira / Departamento de Eng^a Biossistemas

Aspectos hidráulicos das ETARs

Exemplo 1

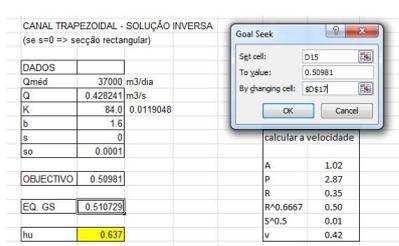
Verifique o dimensionamento do canal de secção rectangular e largura = 1.6 m, de aproximação a uma grelha de barras, considerando a seguinte situação:

- Caudal mínimo = 14 000 m³ d⁻¹
- Caudal médio = 37 000 m³ d⁻¹;
- Caudal de pico = 140 000 m³ d⁻¹

Pressupostos:

- Rugosidade: n = 0.0118;
- Velocidade de aproximação do escoamento: > 0.4 m s⁻¹;
- Velocidade de aproximação para o pico de caudal < 0.9 m s⁻¹;
- Declive do rasto do canal = 0.0001 m m⁻¹;
- Largura do canal: escolhidas com base no descarregador de Parshall e nas larguras comerciais das grelhas;
- Folga = 0.6 m;
- Devem existir dois canais e um deles deve ter capacidade para transportar o pico de caudal;

Opção: Goal seek ou solver



10

B. Barras

Geralmente são fabricadas em material anti corrosão, tal como o aço inoxidável ou o plástico

Perda de carga na gradagem

- A perda de carga, ΔH_G , em grades de limpeza mecânica é um parâmetro chave no dimensionamento;
- ΔH_G máxima admitida varia com a quantidade de detritos que se permite acumular entre limpezas e da natureza dos mesmos.

ΔH_G pode ser calculada considerando o escoamento e as áreas de abertura da grelha, através da seguinte fórmula:

$$\Delta H_G = \frac{K(v_1^2 - v_2^2)}{2g}$$

Sendo

- ΔH_G a perda de carga (m);
- K o coeficiente de descarga tabelado (adimensional);
- v_1 a velocidade através da grade (m s⁻¹);
- v_2 a velocidade no canal de aproximação (m s⁻¹);
- g a aceleração da gravidade (m s⁻²)



- As grades de limpeza mecânica têm um sistema de medição da energia do escoamento a montante e a jusante. Quando a perda de carga atinge 150 mm, é accionado o sistema de limpeza;
- Existem também sistemas temporizados, sendo comum a limpeza ser desencadeada a cada 15 ou 30 minutos.

Características típicas das grades

Parameter	Cleaning method	
	Manual	Mechanical
Bar size		
Width	5–15 mm	5–15 mm
Depth	25–40 mm	25–40 mm
Clear spacing between bars	25–50 mm	6–75 mm
Slope from vertical	30–45°	0–30°

Sources: Daukss, 2006; Metcalf & Eddy, 2003; WEF, 1998.

- Os *coeficientes de descarga* geralmente utilizados valem **1.67 para uma grade limpa e 1.43 para uma grade parcialmente obstruída**;
- A velocidade de aproximação v_2 é calculada para a profundidade de escoamento no canal, a montante da grade;
- A velocidade através da grade, v_1 é para a área aberta entre as barras da grade.

Exemplo 2

Recorrendo aos dados do Exemplo 1, determine a perda de carga através de uma grade de barras, para as situações de grade limpa e grade obstruída a 50 %.

Considere os seguintes pressupostos:

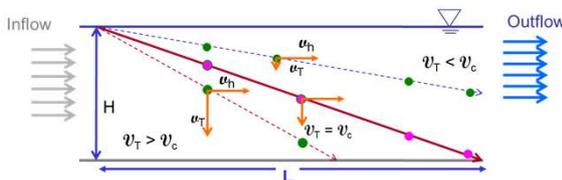
- A grade é de limpeza mecânica;
- Largura das barras = 15 mm;
- Espaçamento entre barras = 20 mm;

Solução:
Para caudal máximo: 28 mm; 168 mm;
Para caudal médio: ? mm; ? mm.

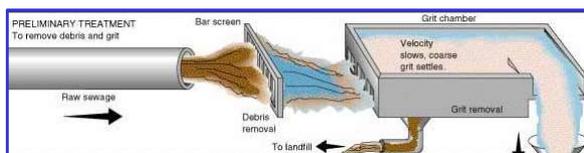
➤ Desarenação

Localiza-se a jusante da gradagem e tem como objectivo retirar areia da água residual para evitar fenómenos de abrasão no equipamento localizado a jusante a acumulação destas partículas de grandes dimensões no tanques de tratamento biológico.

O processo ocorre apenas sob acção da gravidade.



A teoria da sedimentação por gravidade e a sua aplicação ao dimensionamento dos tanques de desarenação foi detalhada na UC Mecânica de Fluidos.



uma vez que as partículas de areia apresentam maior velocidade de sedimentação do que as partículas orgânicas, estas continuam no outflow e participarão nos tratamentos a jusante.

❑ Estação Elevatória ou de Bombagem

- As ETARs são dimensionadas de modo a que o caudal escoe por gravidade;
- É necessária a existência de uma EE que eleve a água a tratar até uma piezométrica suficiente para depois escoar graviticamente através da ETAR.

Considerações para o dimensionamento

- ✓ Deve calcular-se cuidadosamente a altura manométrica total de modo a :
 - Vencer o desnível;
 - Compensar as perdas de carga contínuas e localizadas.
- ✓ A EE deve ser constituída por mais do que uma unidade de elevação;
- ✓ A EE deve ter capacidade de elevação do caudal de pico, mesmo quando a maior unidade de bombagem está for a de serviço.

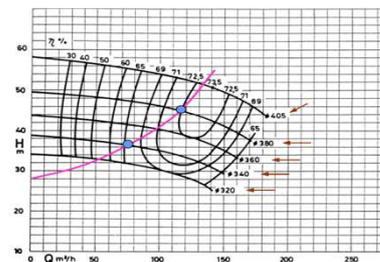


Bombas hidráulicas

O dimensionamento das estações de bombagem electro mecânicas é muito semelhante ao dos sistema de bombagem que equipam as redes de abastecimento de água (ver aulas anteriores e de Mec Fluidos).

A bomba é seleccionada dados o caudal a elevar e a altura manométrica total;

O **ponto de funcionamento da bomba** corresponde à intersecção da sua curva característica com a curva da instalação (ver ppts Mecânica de Fluidos).



Aspectos hidráulicos das ETARs

Previamente à sua passagem pela bomba hidráulica, a água residual deve passar através de grades/filtros que removam material inorgânico de grandes dimensões e que não é tratável na ETAR (plásticos, fibras, etc). O restante caudal é enviado elevado para o tanque de equalização.

Algumas diferenças das bombas para águas residuais relativamente às bombas de elevação de águas limpas:

- Devido ao facto de as propriedades do fluido variarem, a carga contra a qual a bomba trabalha (altura manométrica total) , também varia; É portanto essencial que estas bombas sejam equipadas com equipamentos que permitam a ocorrência de velocidades variáveis
- A bomba seleccionada deverá ter suficiente espaço interior para que os sólidos a atravessem sem causar entupimentos e ao mesmo tempo tenha uma baixa capacidade de modo a bombear a fracção mais diluída do fluido.
- Muito importante também, eventualmente mais ainda, é o tipo de rotor das bombas, no caso de elevação das lamas (ou águas residuais muito concentradas).

17

Aspectos hidráulicos das ETARsParafuso hidráulico ou parafuso de Arquimedes.

- Constitui uma alternativa às bombas hidráulicas;
- Consegue elevar uma grande variedade de sólidos e entulhos que estejam presentes na AR, sem necessidade de pré filtragem;



Arquimedes, 287 a 212 A.C



Aspectos hidráulicos das ETARs

UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente
M^a Rosário Cameira / Departamento de Eng^a Biossistemas



19

Aspectos hidráulicos das ETARs

UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente
M^a Rosário Cameira / Departamento de Eng^a Biossistemas



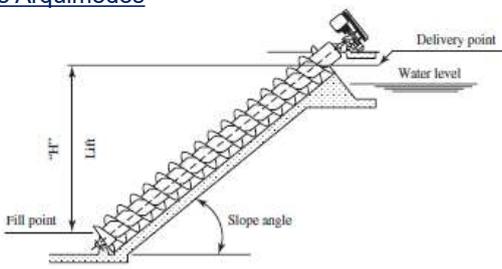
20

UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente
M^o Rosário Carneira / Departamento de Eng^a Blossistemas

Aspectos hidráulicos das ETARs

Dimensionamento do parafuso de Arquimedes

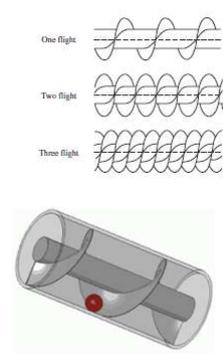
- A eficiência global destes parafusos é de cerca de **80 % para o caudal de pico**, diminuindo para 60 % quando funciona a 30% da capacidade de dimensionamento.



Typical screw pump selection chart^a

Screw diameter, m	Maximum rpm	Maximum capacity at 30° slope, m ³ /h			Maximum height at 30° slope, m		
		1-flight	2-flight	3-flight	1-flight	2-flight	3-flight
0.30	110	34	42	52	2.4	2.2	2.1
0.41	91	66	83	103	2.9	2.7	2.5
0.51	79	112	140	175	3.4	3.0	3.0
0.61	70	168	210	262	4.0	3.7	3.7
0.76	60	288	360	451	4.2	3.9	3.7
0.91	53	434	542	678	4.8	4.4	4.2
1.07	48	621	776	970	5.3	5.0	4.6
1.22	44	881	1,101	1,376	4.7	4.3	4.1
1.37	41	1,132	1,415	1,769	5.6	5.2	4.9
1.52	38	1,486	1,858	2,322	5.2	4.7	4.4
1.68	35	1,774	2,216	2,771	5.9	5.5	5.1
1.83	33	2,230	2,788	3,484	5.6	5.1	4.7
2.03	31	2,791	3,488	4,360	5.1	4.6	4.3
2.13	30	3,219	4,023	5,029	5.8	5.3	4.9

^aFor academic use. Use actual manufacturers' data for design.



UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente
M^o Rosário Carneira / Departamento de Eng^a Blossistemas

Aspectos hidráulicos das ETARs

Exemplo 3: Dimensione um parafuso de Arquimedes para uma ETAR com as seguintes características:

- Caudal mínimo = 10 400 m³ d⁻¹
- Caudal de dimensionamento = 37 000 m³ d⁻¹;
- Caudal de ponta = 104 000 m³ d⁻¹;
- Cota da água residual à chegada à ETAR = 514.75 m;
- Cota do tanque de equalização = 519.17 m

- ✓ Determinação do desnível a vencer, ΔN:
- ✓ Escolha das dimensões mínimas do parafuso - Utilização da Tabela
- ✓ Escolha da melhor hipótese: processo iterativ

Regularização dos caudais afluentes à ETAR

A água residual chega à ETAR com caudais que variam no tempo.

Mesmo em estação seca **existe uma variação inter horária que reflecte os hábitos de vida das populações servidas e os processos industriais que ocorrem também em regime variável.**



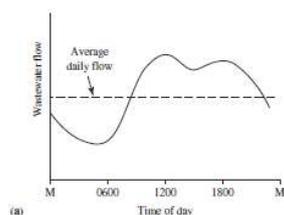
- Geralmente os maiores caudais chegam à ETAR a meio da manhã;
- Os menores caudais ocorrem das 23 h às 5h;
- Em climas húmidos, as variações de caudal afluente são muito grandes e ocorrem por isso grandes alterações na concentração de sólidos suspensos.

Este aspecto condiciona a eficiência de funcionamento da ETAR; As unidades constituintes devem ser dimensionadas para condições de escoamento de ponta, tornando-as sobredimensionadas para caudal médio.

O objectivo do **tanque de equalização ou regularização de caudal** é o de amortecer estas variações, de modo a que a água residual possa ser tratada a caudal quase constante.

23

A equalização do caudal nas ETARs tem diminuído significativamente a dimensão e o custo das unidades de tratamento.



Variação típica, ao longo do dia, dos caudais afluentes a uma ETAR

- Do ponto de vista do dimensionamento e operação da ETAR, o caudal afluente deveria ser aproximadamente constante;
- A redução de amplitude da onda designada de equalização, pode ser feita por armazenamento da água residual que chega em excesso e pela sua efluência durante os períodos em que a afluência é inferior à média;
- A determinação do volume de armazenamento é feita com recurso ao balanço de volume ao longo do dia.

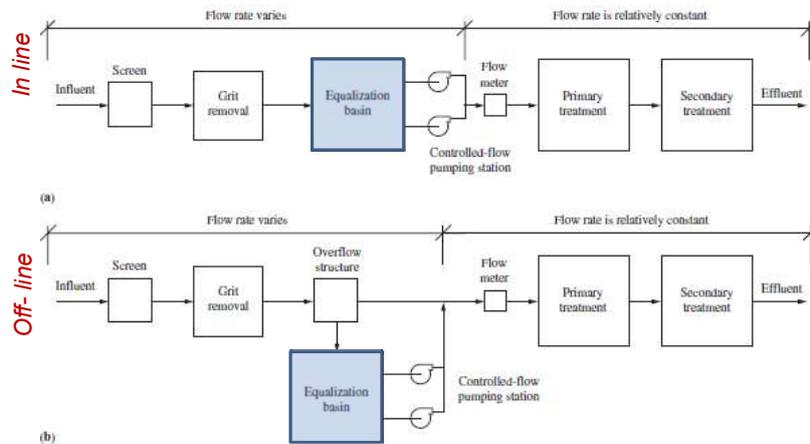
24

Os principais factores a considerar no dimensionamento dos tanques de equalização são:

- Localização e configuração;
- Volume;
- Geometria do tanque;
- Necessidade de mistura e arejamento;
- Acessórios;
- Estação elevatória.

Localização e configuração

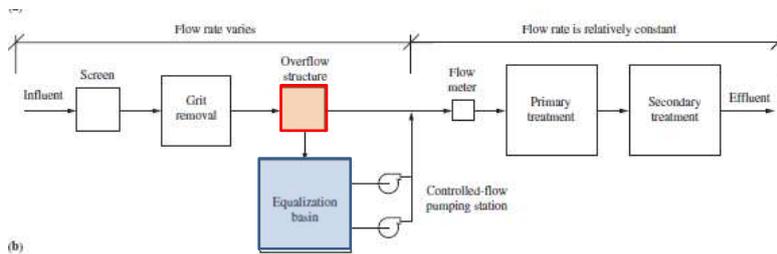
Os tanques são normalmente localizados a jusante de unidades de pré tratamento tais como grelhas/filtros e *grit chambers*.



- A disposição **in-line** permite atenuar grandemente as variações de caudal ao longo do dia.
- A disposição **off-line** é tipicamente usada para atenuar as diferenças de caudal entre estações, em zonas húmidas.

A existência do descarregador de cheias direcciona o escoamento para o tanque de equalização apenas acima de um valor predeterminado.

Isto permite regularizar as diferenças entre estações não tendo efeito na regularização ao longo do dia.



Exemplo 4: Determinação do volume de um tanque de equalização

Example 20-6. Determine the equalization basin volume required for the following cyclic flow pattern. Provide a 25% excess capacity for equipment, unexpected flow variations, and solids accumulation. Evaluate the impact of equalization on the mass loading of BOD₅.

Time, h	Flow, m ³ /s	BOD ₅ , mg/L	Time, h	Flow, m ³ /s	BOD ₅ , mg/L
0000	0.0481	110	1200	0.0718	160
0100	0.0359	81	1300	0.0744	150
0200	0.0226	53	1400	0.0750	140
0300	0.0187	35	1500	0.0781	135
0400	0.0187	32	1600	0.0806	130
0500	0.0198	40	1700	0.0843	120
0600	0.0226	66	1800	0.0854	125
0700	0.0359	92	1900	0.0806	150
0800	0.0509	125	2000	0.0781	200
0900	0.0631	140	2100	0.0670	215
1000	0.0670	150	2200	0.0583	170
1100	0.0682	155	2300	0.0526	130

UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente
M^{ra} Rosário Carneira / Departamento de Eng^a Biossistemas

Aspectos hidráulicos das ETARs

Resolução: Método do balanço de volume para determinação do volume do tanque de equalização

t (h)	Q (m ³ s ⁻¹)	V _{in} (m ³)	V _{ou} (m ³)	ΔS (m ³)	ΔS _{acum} (m ³)
0900	0.0631	227.16	203.65	23.51	23.51
1000	0.067	241.2	203.65	37.55	61.06
1100	0.0682	245.52	203.65	41.87	102.93
1200	0.0718	258.48	203.65	54.83	157.76
1300	0.0744	267.84	203.65	64.19	221.95
1400	0.075	270	203.65	66.35	288.3
1500	0.0781	281.16	203.65	77.51	365.81
1600	0.0806	290.16	203.65	86.51	452.32
1700	0.0843	303.48	203.65	99.83	552.15
1800	0.0854	307.44	203.65	103.79	655.94
1900	0.0806	290.16	203.65	86.51	742.45
2000	0.0781	281.16	203.65	77.51	819.96
2100	0.067	241.2	203.65	37.55	857.51
2200	0.0583	209.88	203.65	6.23	863.74
2300	0.0526	189.36	203.65	-14.29	849.45
0000	0.0481	173.16	203.65	-30.49	818.96
0100	0.0359	129.24	203.65	-74.41	744.55
0200	0.0226	81.36	203.65	-122.29	622.26
0300	0.0187	67.32	203.65	-136.33	485.93
0400	0.0187	67.32	203.65	-136.33	349.6
0500	0.0198	71.28	203.65	-132.37	217.23
0600	0.0226	81.36	203.65	-122.29	94.94
0700	0.0359	129.24	203.65	-74.41	20.53
0800	0.0509	183.24	203.65	-20.41	0.12

$\Delta S = V_{in} - V_{out}$

$\Delta S_{acum} = \Delta S_i + \Delta S_{i+1}$

$V_{equaliz} = \text{Máx}(\Delta S_{acum}) \times 1.25$

$V_{equaliz} = 863.74 \times 1.25 = 1079.68 \text{ m}^3$

Posteriormente é necessário calcular a influência da equalização dos caudais na carga de BOD5

UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente
M^{ra} Rosário Carneira / Departamento de Eng^a Biossistemas

Aspectos hidráulicos das ETARs

□ **Medição de caudais**




Tratamento preliminar
Obra de entrada – medidor de caudal Parshall

Aspectos hidráulicos das ETARs

Os equipamentos mais comuns nas ETARS são o descarregador de Parshall e o medidor magnético.

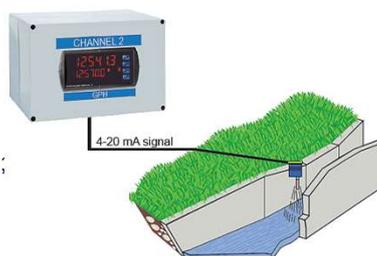
Descarregador de Parshall

Foi desenvolvido por R. L. Parshall (1926a, 1926b, 1941) U.S. Department of Agriculture.



O descarregador de Parshall é uma estrutura hidráulica fixa, desenvolvida para medição de caudais volúmicos em:

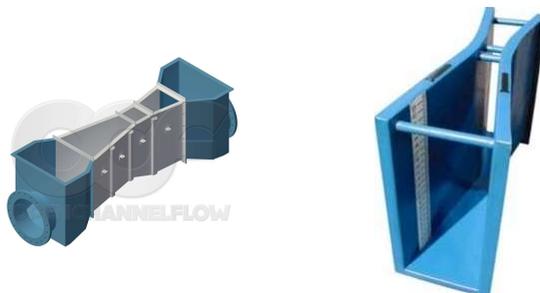
- águas superficiais;
- água para rega;
- descargas industriais;
- sistemas de drenagem de águas residuais;
- afluentes e efluentes de ETARS .

Aspectos hidráulicos das ETARs

O descarregador de Parshall está limitado à medição de caudais em escoamento por gravidade;

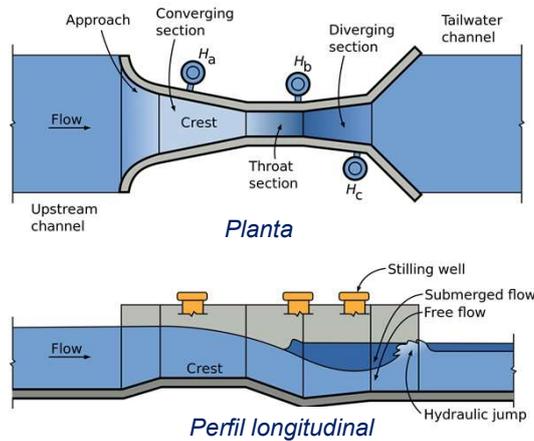
Adequa-se à medição nas ETARS pois permite a passagem de grande variabilidade de sólidos tais como matéria orgânica, areias, objectos, etc.

A maior desvantagem corresponde à necessidade de comprimento adicional para a obtenção do regime uniforme a montante e a jusante;



Um dado descarregador consegue medir uma grande intervalo de valores de caudal, no entanto, sendo esta variação excessiva, na estação de menores caudais pode ser utilizada uma estrutura amovível no seu interior.

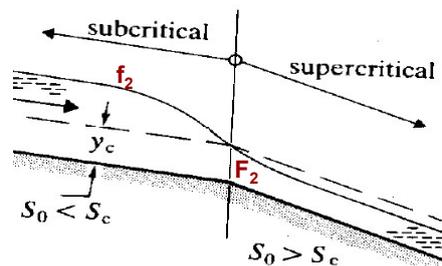
É constituído por um troço de canal, com uma secção contraída e uma queda.



As dimensões do descarregador são fixadas de modo a que haja uma **transição de escoamento subcrítico para supercrítico**.

A transição de regime de escoamento é causada pelo **estreitamento em simultâneo com a queda do fundo do canal**.

- A passagem de regime lento a regime rápido origina a altura crítica sobre a transição;



(a) Subcritical to supercritical

Ao passar pelo regime crítico a energia é minimizada e existe uma relação directa entre a altura de escoamento e a velocidade. Isto permite que o descarregador seja utilizado como instrumento de medição.

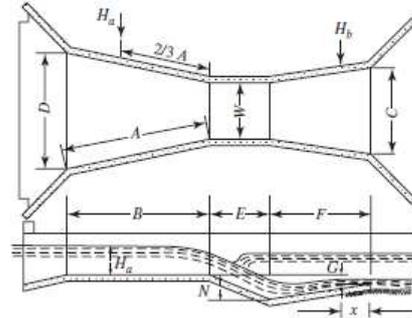
Dimensões do descarregador Parshall

A largura do estreitamento (W) é imposta e utilizada para definição das outras dimensões.

As dimensões são standartizadas e especificadas por organizações internacionais tais como:

ISO (1992) (The International Organization for Standardization) e a ASTM (1991) (American Society for Testing and Materials).

As larguras variam entre 25 mm e 15 m;
Os caudais a medir variam entre 1 m³ h⁻¹ e 300 000 m³ h⁻¹.

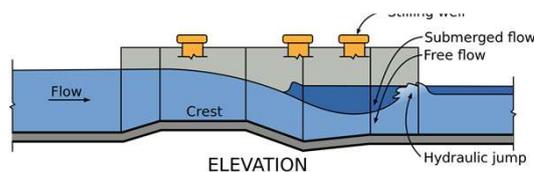


35

Aspectos hidráulicos das ETARs

Quando o descarregador opera em condições de escoamento livre, observa-se um ressalto hidráulico no estreitamento.

Para esta situação foram desenvolvidos uma equação e dois gráficos (LMNO, 2008)



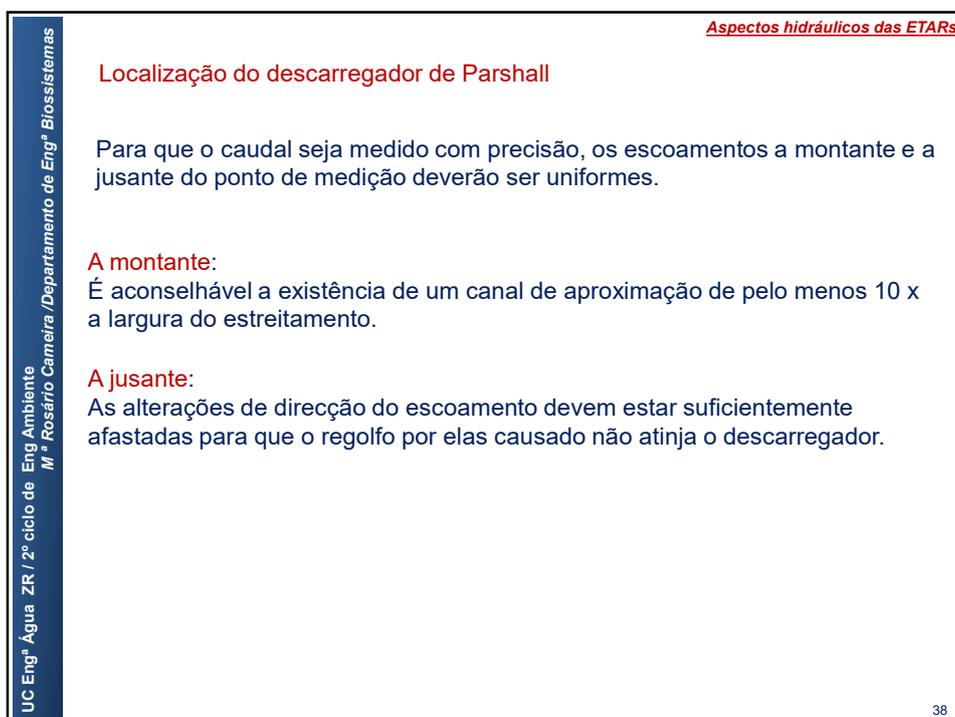
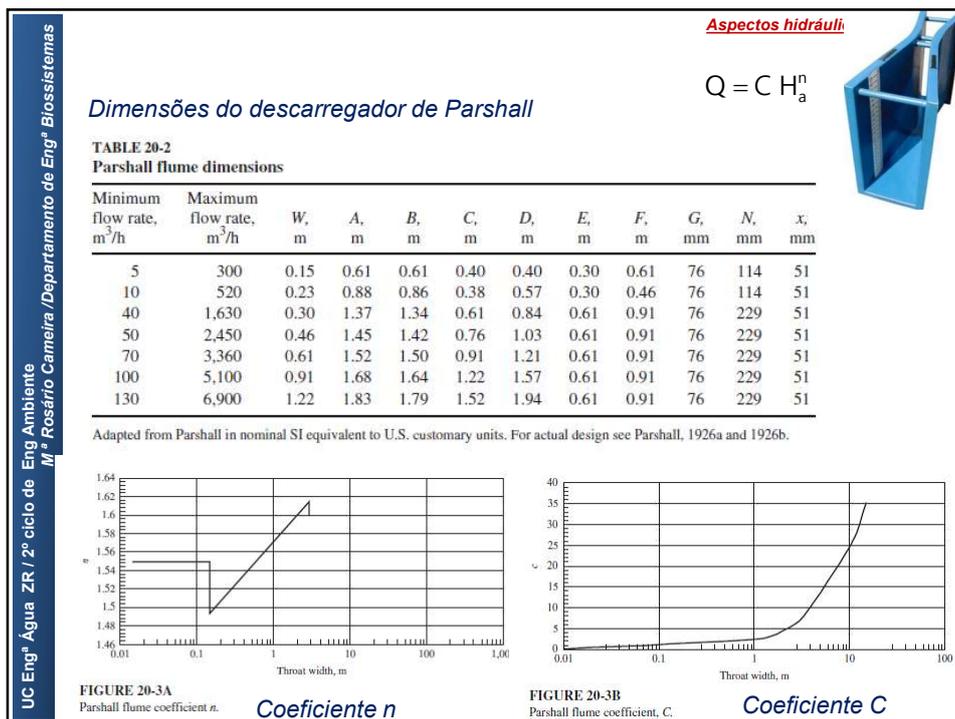
$$Q = C H_a^n$$

Sendo Q o caudal em m³ s⁻¹, Há a altura de escoamento sobre o ponto a e C e n coeficientes empíricos

Se o descarregador operar em condições de submersão, dever ser aplicado um factor de correcção.

Stevens (1998) fornece tabelas para converter a leitura na escala do Parshall em caudal, bem como os factores de correcção para condições de submersão.

36



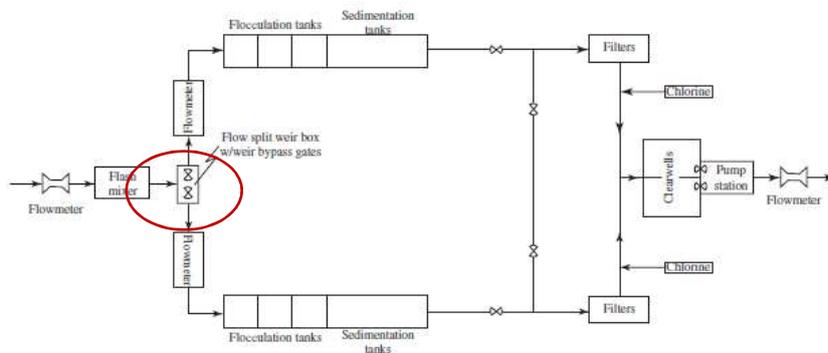
Exemplo 5

Dimensione um descarregador de Parshall de acordo com os dados dos exemplos anteriores, recorrendo à tabela e gráficos da página 36.

☐ Caixas de separação de caudal

O caudal afluente é repartido com base nas diferentes cotas da soleira de descarregadores colocados dentro da caixa.

De entre os diferentes descarregadores disponíveis (Cipolletti, Thompson, Bazin, etc), há que escolher os mais adequados a cada situação e objectivo (rever aula sobre descarregadores)



Exemplo 6

A caixa de repartição de caudal representada na figura tem como entrada de água um orifício submerso com as dimensões de 0.5 m x 0.8 m (não visível na fig). As cotas da superfície livre a montante e a jusante do orifício são 23.62 m e 23.32 m, respectivamente. O caudal é repartido por meio de dois descarregadores. Um deles é um descarregador *Cipolletti* cuja zona de descarga tem 2 m de largura; o outro é um descarregador *Thompson*. O desnível entre a soleira do Thompson e o nível de água no Cipolletti é de 10 cm. Determinar:

- o caudal total a repartir (0.601);
- os caudais descarregados por cada um dos descarregadores (0.0046; 0.596);
- A carga sobre o Cipolletti e as velocidades de descarga (0.297).



41

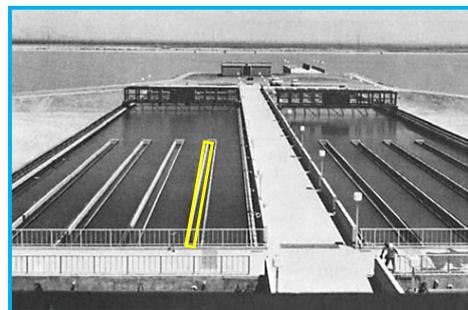
❑ Descarregador de outflow

O componente principal é um **descarregador** que controla o nível de água no tanque e o caudal de saída do tanque.

Pretende-se que o descarregador tenha um comprimento grande para maior estabilidade hidráulica do sistema.



- O descarregador é constituído por **canaletes desenvolvendo-se paralelamente ao comprimento do tanque**, de modo a aumentar o comprimento do descarregador.
- O comprimento dos canaletes deve ser **1/3 do comprimento do tanque**.
- Os canaletes são uniformemente espaçados ao longo da largura do tanque.



42/33

UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente
M^o Rosário Carneira / Departamento de Eng^a Biossistemas

Aspectos hidráulicos das ETARs

- Os canaletes terminam em **descarregadores em V**.
- O muro de fundo termina num **descarregador rectangular** de soleira espessa.



Dimensionamento do descarregador

Carga hidráulica sobre o descarregador, CH_{desc}

$$CH_{desc} = \frac{Q_e}{W_{desc}}$$

Para que o nível de água no tanque se mantenha constante

Sendo

- W_{desc} a largura do descarregador (m);
- Q_e o caudal de entrada ($m^3 d^{-1}$);
- CH_{desc} a carga hidráulica sobre o descarregador ($m^3 d^{-1} m^{-1}$)

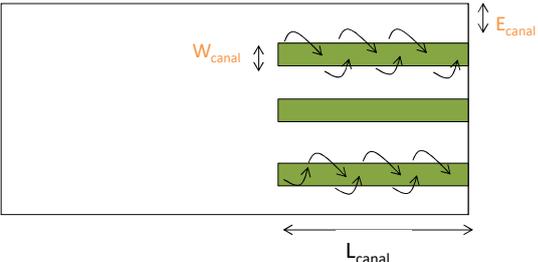
CH_{desc} está limitado a um intervalo de 100 a 320 $m^3 d^{-1} m^{-1}$

43/33

Aspectos hidráulicos das ETARs

Então o método de dimensionamento é o seguinte:

- Impor um valor para CH_{desc} dentro do intervalo aconselhado;
- Calcular W_{desc} ;
- Se $W_{desc} > W_{tanque}$ proceder ao dimensionamento dos canaletes:
 - Comprimento dos canaletes: $L_{canal} = \frac{1}{3} L_{Tanque}$
 - N^o de canaletes: $N_{canal} = \frac{W_{desc}}{2 L_{canal}}$
 - Largura dos canaletes: W_{canal} deve variar entre 0.25 e 0.5 cm.
 - Espaçamento entre os canaletes: $E_{canal} = \frac{W_{Tanque} - W_{canal} N_{canal}}{N_{canal} + 1}$



44/33

UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente M^a Rosário Cameira / Departamento de Eng^a Biossistemas

Aspectos hidráulicos das ETARs

Os canaletes podem apresentar descarregadores de Thompson em todo o perímetro (descarregador triangular a 90° - ver dimensionamento no próximo slide)

45

UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente M^a Rosário Cameira / Departamento de Eng^a Biossistemas

Aspectos hidráulicos das ETARs

▪ Descarregador triangular com contracção total

➤ Geral

$$Q = C \frac{8}{15} \sqrt{2g} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} H^{5/2}$$

C varia com a carga, tomando geralmente o valor de 0.62, ou então => ver tabela

V-Notch Weir Coefficients (CV) of Discharge						
Weir Angle (Degrees)						
Head (ft.)	22.5	30	45	60	90	120
0.5	0.611	0.605	0.596	0.590	0.584	0.581
1.0	0.593	0.590	0.583	0.580	0.576	0.575
1.5	0.586	0.583	0.578	0.575	0.572	0.572
2.0	0.583	0.580	0.576	0.573	0.571	0.571
2.5	0.580	0.578	0.574	0.572	0.570	0.570
3.0	0.579	0.577	0.574	0.571	0.570	0.570

(Source: Van Haveren 1986.)

➤ Thompson $\theta = 90^\circ$

$$Q = 1.38 H^{5/2} \text{ Com } 0.18 \text{ m} > H > 0.05$$

$$Q = 1.46 H^{5/2} \text{ H} > 0.18 \text{ m}$$

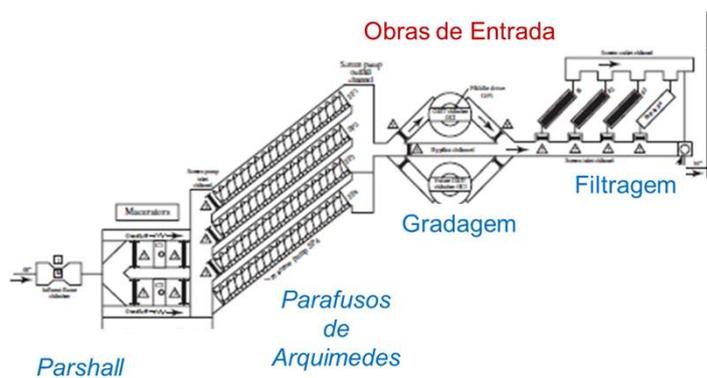
➤ Quando a contracção é parcial devem usar-se factores de correcção (ver bibliografia)

Exemplo 7

Um decantador de secção circular com 15m de diâmetro, tem instalados em 80% do seu perímetro descarregadores triangulares com um ângulo de abertura de 90°. O afastamento entre eixo dos descarregadores é de 0.8 m e a altura máxima de descarga é de 6 cm.

Determinar:

- a) o número de descarregadores instalados;
- b) a altura e a velocidade de descarga para um caudal de $125 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de perímetro útil de descarga;
- c) o caudal total escoado para a altura máxima de descarga.



UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente
M^o Rosário Cameira / Departamento de Eng^a Biossistemas

Aspectos hidráulicos das ETARs

□ Dimensionamento do sistema hidráulico da ETAR:

- Depois do dimensionamento das estruturas de tratamento das águas, devem ser dimensionadas as **condutas e os canais que as ligam**.
- Seguidamente, constroem-se os **perfis hidráulicos** para o *caudal médio* e o *caudal de ponta*.

Objectivo do perfil hidráulico:

- Assegurar que o gradiente hidráulico é suficiente para que a água residual **escoe por gravidade** ao longo da ETAR;
- Estabelecer a **altura manométrica** para os *sistemas elevatórios (bomba centrífuga ou parafuso de Arquimedes)* quando necessário;
- Assegurar que **não haverá extravasamento** nem retorno de água e consequente inundação durante os *períodos de ponta*.

49

UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente
M^o Rosário Cameira / Departamento de Eng^a Biossistemas

Aspectos hidráulicos das ETARs

□ **Perfil hidráulico**

Corresponde ao traçado da linha piezométrica ao longo da ETAR.

Os cálculos da linha piezométrica iniciam-se por jusante e têm em consideração:

- os desníveis entre as unidades de tratamento, $Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2}{2g} + \Delta H$
- as perdas de carga impostas pelas unidades de tratamento e $Z_1 + \frac{v_1}{2g} = Z_2 + \frac{v_2}{2g} + \Delta H$
- as perdas de carga nas tubagens e canais de transporte entre as unidades de tratamento. $Z_1 = Z_2 + \Delta H$

▪ É representado por um desenho que mostra as linha de energia e/ou piezométrica ao longo da ETAR.

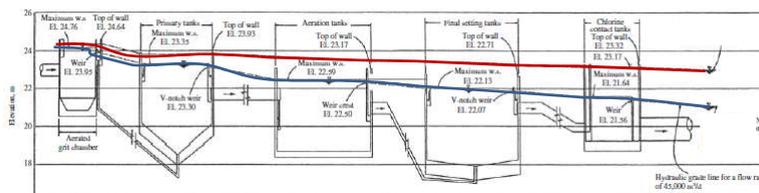
Ou seja

- A cota das superfície da água à medida que esta escoa ao longo da ETAR. Estas cotas são definidas pelo dimensionamento com base nas **perdas de carga que ocorrem nas diferentes unidades de tratamento**.
- Devem ser representadas as **cotas da superfície do topo e do fundo de cada unidade de tratamento, dos equipamentos, das superfícies de água e de todos os tubos**

50

Aspectos hidráulicos das ETARs

Conhecidas todas as perdas de carga, inicia-se o cálculo no extremo de jusante, recuando-se até à entrada da ET indo gradualmente compensando a perda de carga com aumentos de elevação da superfície



_____ período de retorno de 42 anos _____ período de retorno de 15 anos

- Se a linha piezométrica exceder a cota máxima deve rever-se o sistema.
- Geralmente a solução passa por aumentar a capacidade das condutas onde a perda de carga é maior.

51

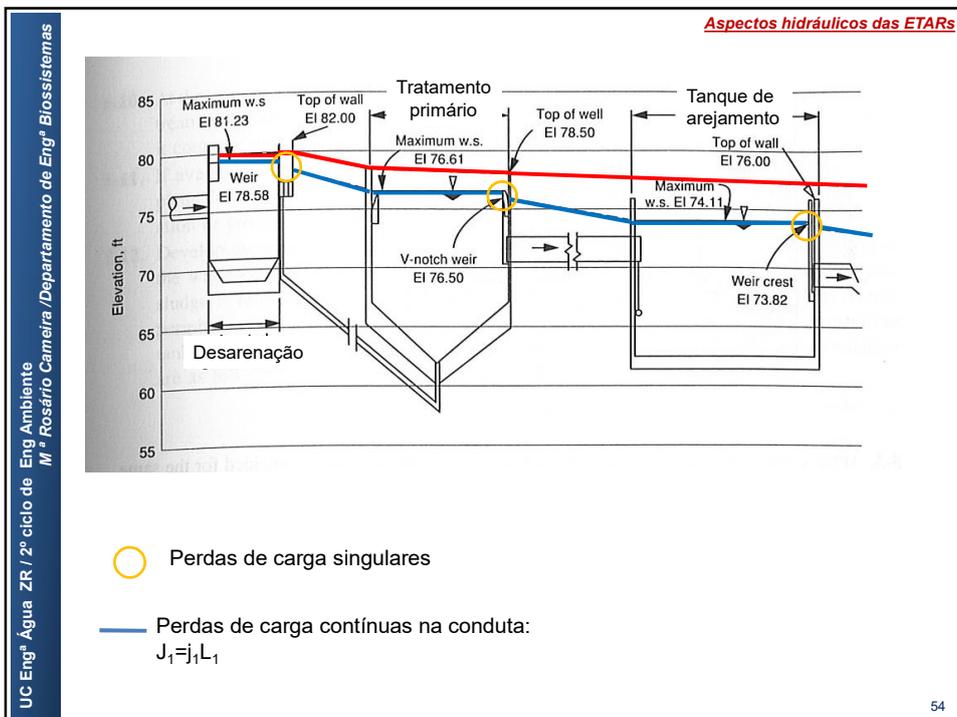
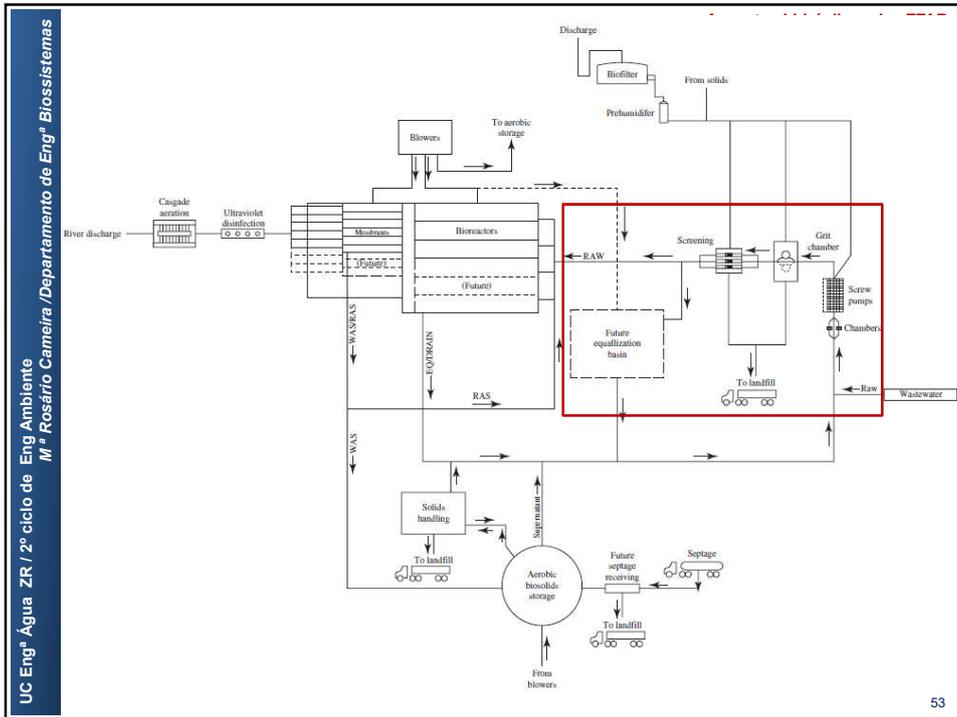
Aspectos hidráulicos das ETARs

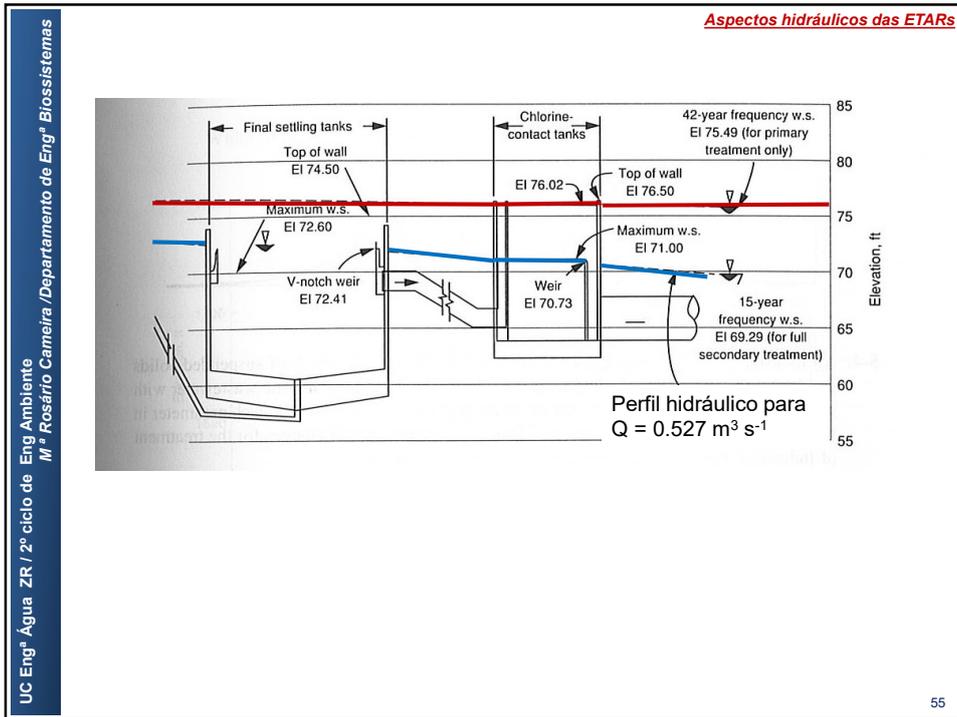
Perdas de carga típicas nas diferentes unidades de tratamento das ETAs

Unidade de tratamento	Perda de carga (m)
Grade	0.15-0.3
Tanque de desarenação	
Com arejamento	0.45-1.2
Com velocidade controlada	0.45-0.9
Sedimentação primária	0.45-0.9
Tanque de arejamento	0.20-0.6
Trickling filter	
Low-rate	3.0-6
High-rate, rock media	1.8-4.8
High rate, plastic media	4.8-12
Sedimentação secundária	0.45-0.9
Filtragem	3.0-4.8
Carbon adsorption	3.0-6.0
Chlorine-contact tank	0.2-1.8

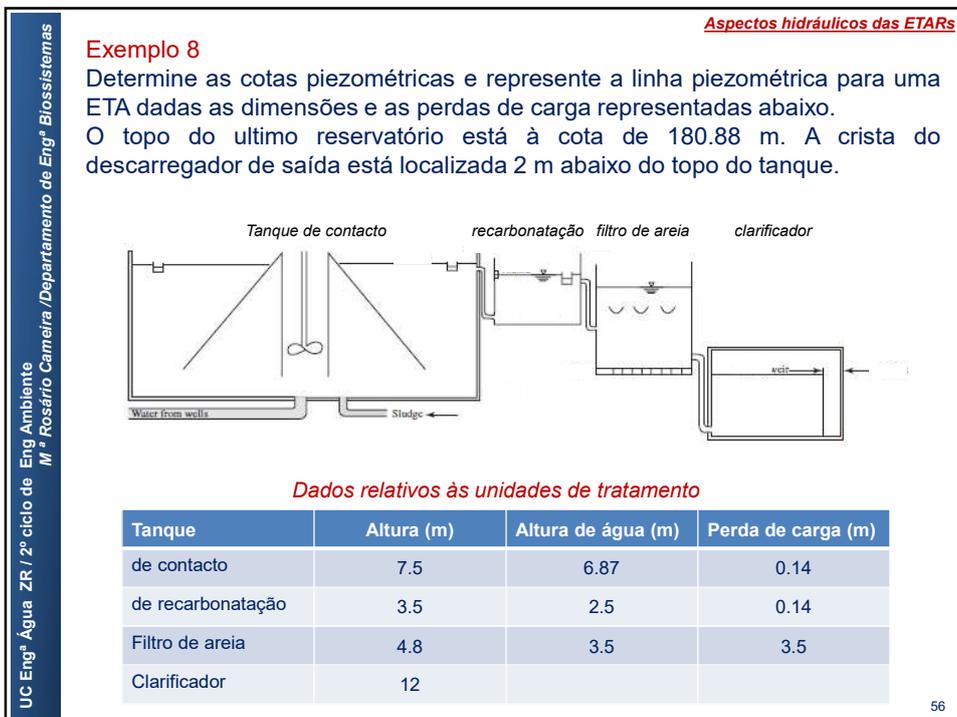
Adaptado de Davis (2010)

52





55



UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente
M^a Rosário Carneira / Departamento de Eng^a Biossistemas

Aspectos hidráulicos das ETARs

Considerações

- Neste exemplo não se consideraram perdas de carga nas condutas e válvulas associadas. Apenas se consideraram as perdas de carga nas unidades de tratamento.
- Embora o comprimento das tubagens seja, regra geral, pequeno, estas perdas **não podem ser desprezadas se as tubagens forem estreitas ou se as válvulas não funcionarem completamente abertas.**

57

UC Eng^a Água ZR / 2^o ciclo de Eng Ambiente
M^a Rosário Carneira / Departamento de Eng^a Biossistemas

Aspectos hidráulicos das ETARs

Exemplo 9

NOTE: High water levels (HWL) calculated at 23,000 m³/d with parallel flow through clarifiers and one filter in backwash.

58

Problema 2 Teste 2018/2018 (6 valores):

A Figura 2 em Anexo (não está à escala) representa uma sequência de tratamentos numa ETAR. O Quadro 2 em Anexo apresenta algumas características das unidades de tratamento, para o caudal médio.

a) Calcule as cotas das superfícies livres em todas as unidades de tratamento apresentadas e desenhe o perfil hidráulico sobre a Figura.

Nota: a cota da extremidade do tubo de saída a jusante (Tubo D) é 180 m; no tanque de sedimentação secundária o nível de água deve estar pelo menos 7 m acima da saída para o tubo (sem contar com as perdas de carga no tanque);

b) A água residual chega à ETAR a uma cota de 188.9 m. Pretende-se dimensionar o/os parafuso/s de Arquimedes que elevem a água residual desde a cota de chegada até ao tanque de equalização que se encontra à cota da entrada do tubo A. Pretende-se que todos os parafusos tenham as mesmas características e que seja aplicado o princípio da redundância. Recorrendo ao Quadro 3 apresentado em Anexo:

Indique as diferentes possibilidades o diâmetro e o nº de flanges;

Escolha a mais adequada com base na eficiência de funcionamento

Considere: $Q_{\text{médio}} = 22\,200 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$; $Q_{\text{pico}} = 62\,400 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$; $Q_{\text{mínimo}} = 6\,240 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$

Nota: se não resolveu a alínea a) considere que a cota de entrada do tubo A é 193 m. **FIM**

Quadro 2 – Características das unidades de tratamento da ETAR

Tanque	Altura de água (m)	Perda de carga (m)
Desarenação	11	0.52
Arejamento	12	0.20
Sedimentação secundária	10	0.45

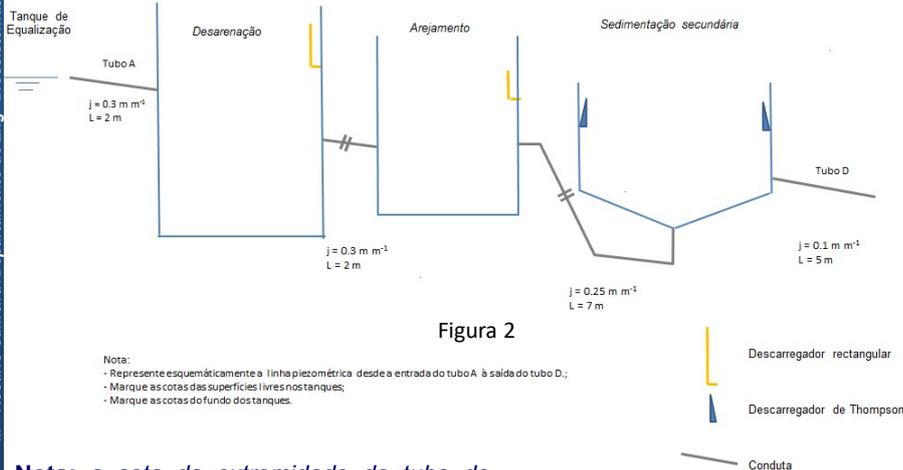


Figura 2

Nota:
 - Represente esquematicamente a linha piezométrica desde a entrada do tubo A à saída do tubo D;
 - Marque as cotas das superfícies livres nos tanques;
 - Marque as cotas do fundo dos tanques.

Descarregador rectangular
 Descarregador de Thompson

Condução

Nota: a cota da extremidade do tubo de saída a jusante (Tubo D) é 180 m; no tanque de sedimentação secundária o nível de água deve estar pelo menos 7 m acima da saída para o tubo (sem contar com as perdas de carga no tanque);

Quadro 2 – Características das unidades de tratamento da ETAR

Tanque	Altura de água (m)	Perda de carga (m)
Desarenação	11	0.52
Arejamento	12	0.20
Sedimentação secundária	10	0.45