

INSTITUTO FEDERAL

Sertão Pernambucano

Campus Petrolina Zona Rural

Aula 14

Golpe de Aríete

Prof. José Sebastião Costa de Sousa

Dr. Engenharia Agrícola

CPZR/IFSertãoPE

Sumário

- O fenômeno
- Cálculos
- Formas de controle



O FENÔMENO HIDRÁULICO GOLPE DE ARÍETE

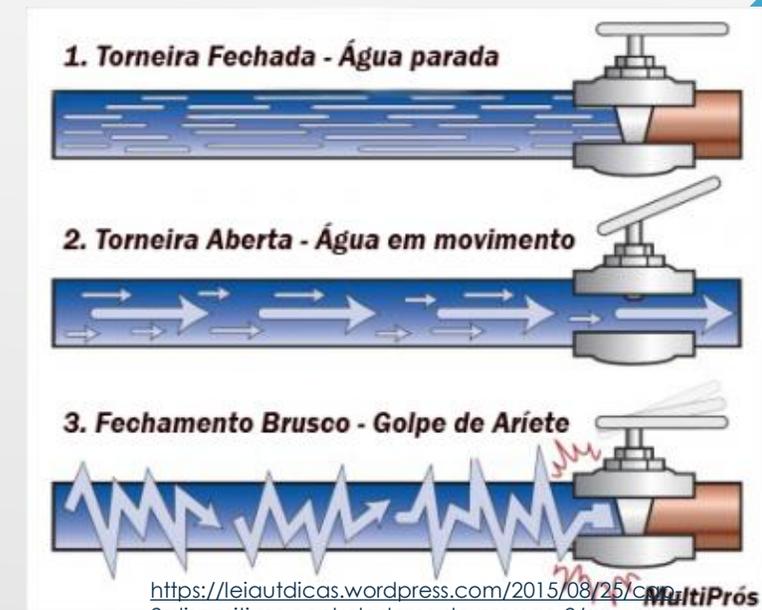


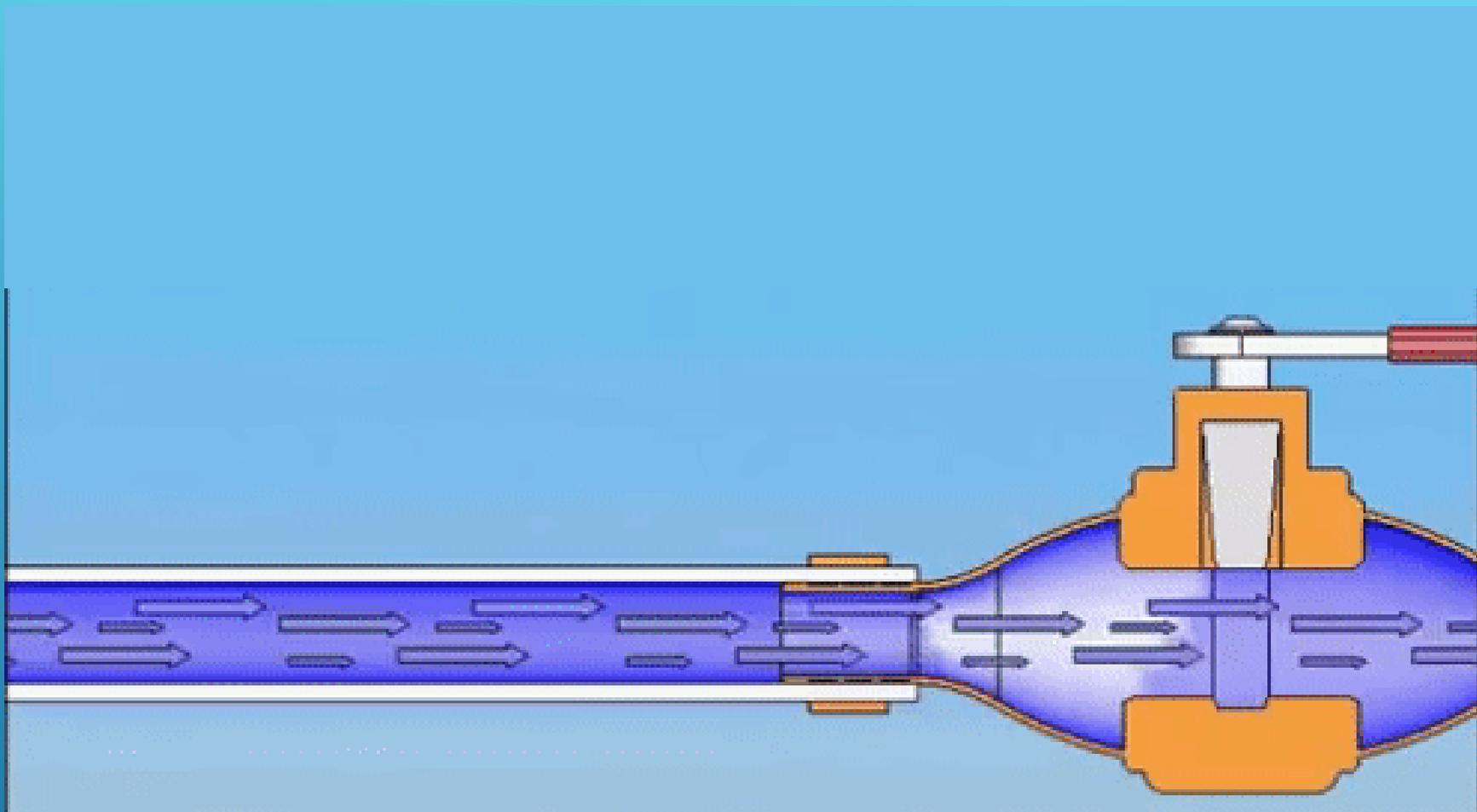
No manual de hidráulica vol. 8 é escrito ariete (sem o acento)

Trata-se de um transiente hidráulico.

É um choque hidráulico (forte) gerado sobre as paredes da tubulação devido a interrupção abrupta do fluxo.

Causa sobrepressões e depressões, alternadas, em partes da tubulação (extremidades).





A válvula é aberta

Ondas de sobre e depressão durante o golpe

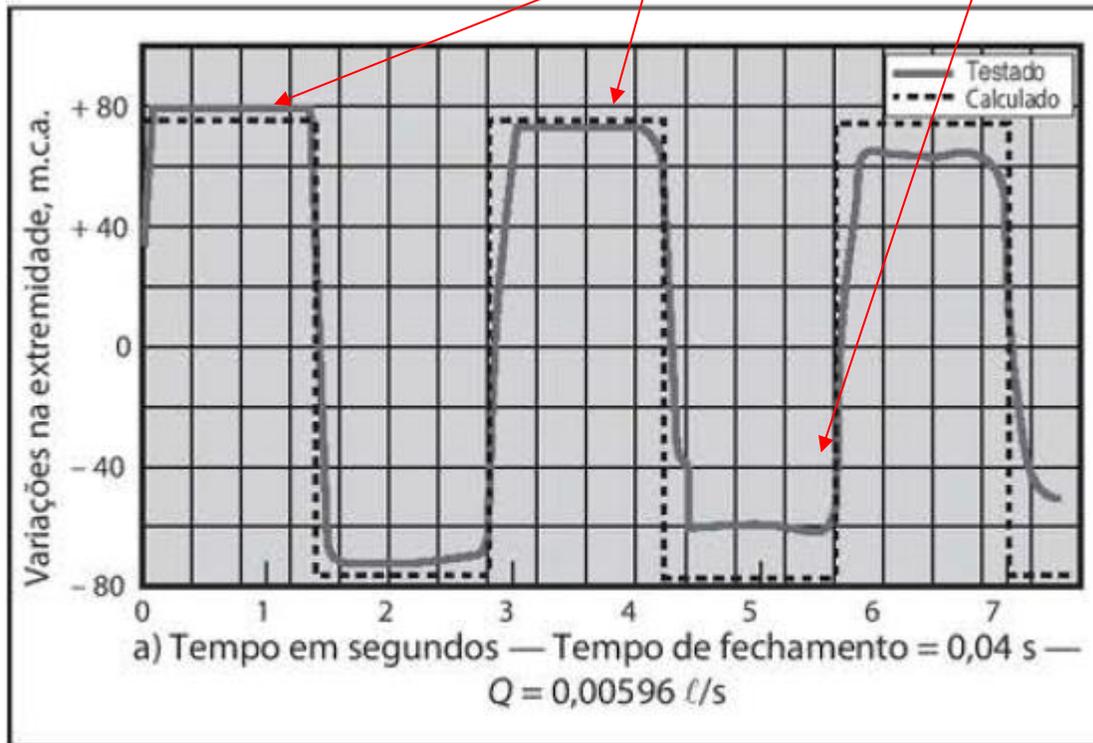


Figura A-12.2-d – Golpe de aríete com tempo de fechamento de 0,04 s (Bib. O050).

Fechamento do registro em 0,04 segundo

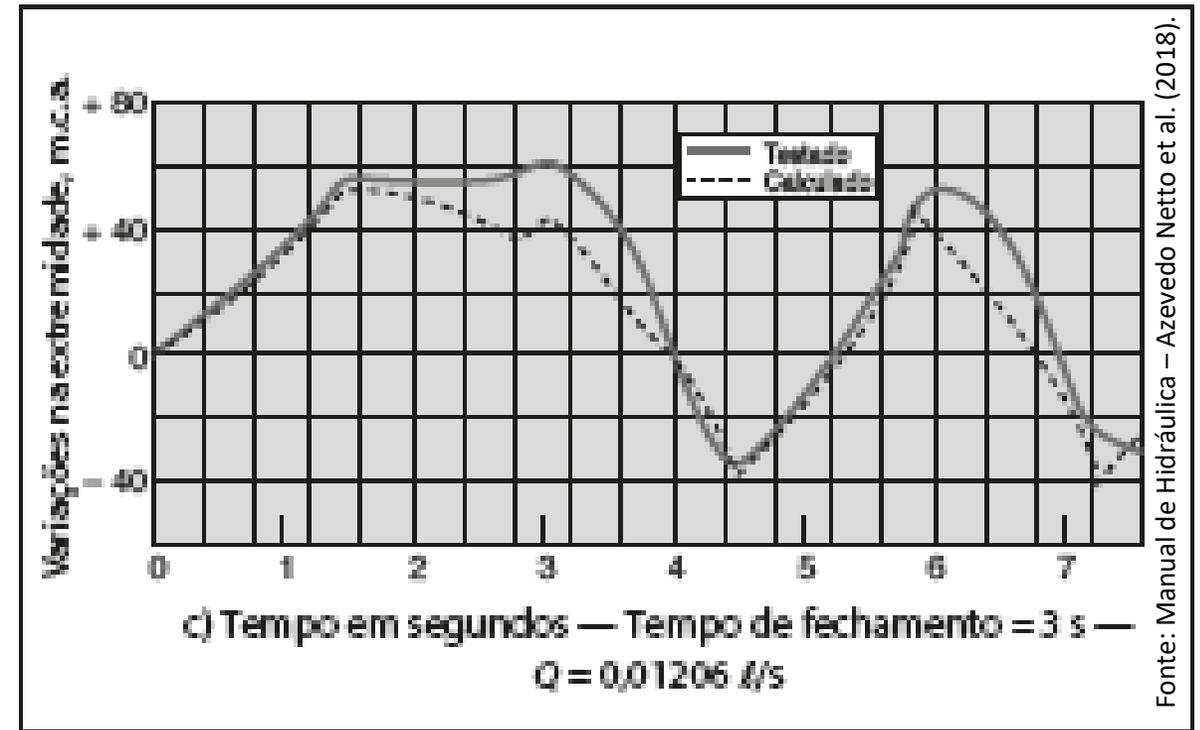


Figura A-12.2-f – Golpe de aríete com tempo de fechamento de 3 s (Bib. O050).

Fechamento do registro em 3 segundos

Obs.: Se a classe de pressão fosse PN 80 mca, poderia ter havido ruptura no caso?

Cálculo da celeridade de onda

Fórmula de Allievi:

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \cdot \frac{D}{e}}}$$

Em que:

C – celeridade de onda, m/s;

K – coef. elasticidade do conduto, adimensional; $K = 10^{10}/E$ (E mod. Elast.)

K = 18 para plástico

K = 1 para ferro fundido

K = 0,5 para tubo de aço

D – diâmetro interno do tubo, mm;

e – espessura da parede do tubo, mm

Tabela A-12.3-a Valores da celeridade “c” da Equação (12.1) (m/s)

D/e	Aço	Ferro fundido (FFD)	Concreto	Plásticos tipo PVC rígido
	K = 0,5	K = 1	K = 5	K = 18
500	573,2	422,8	196,1	104,1
400	628,3	467,6	218,7	116,3
300	703,0	530,5	251,6	134,1
250	752,0	573,2	274,8	146,8
200	813,0	628,3	305,8	163,9
180	841,8	655,2	321,5	172,6
160	874,0	685,9	339,9	182,9
140	910,2	721,5	361,9	195,3
120	951,3	763,1	388,8	210,7
100	998,5	813,0	422,8	230,3
80	1053,5	874,0	467,6	256,6
60	1118,8	951,3	530,5	294,7
50	1156,3	998,5	573,2	321,5
40	1197,9	1053,5	628,3	357,2
30	1244,3	1118,8	703,0	408,2
20	1296,6	1197,9	813,0	489,9
10	1356,0	1296,6	998,5	655,2

Fonte: Manual de Hidráulica – Azevedo Netto et al. (2018).

Se $K = 0$, $C \approx 1424$ m/s que é a velocidade do som na água.

Exemplo: Determine a celeridade de onda gerada para o caso em estudo:

D 118,20 mm; e 3,40 mm

$$C = \frac{9900}{\sqrt{\left(48,3 + 18 \times \frac{118,20}{3,40}\right)}}$$

$$C = \frac{9900}{\sqrt{(48,3 + 18 \times 34,76)}}$$

$C = 381,34$ m/s

Observem que o valor de C está no intervalo tabelado.

Cálculo da sobre/depressão

- Denomina-se de fase ou período da canalização (τ) o tempo que a onda de sobrepressão leva para ir e voltar de uma extremidade a outra da tubulação: $\tau = (2 \cdot L)/C$.
- Se a interrupção do fluxo se der num intervalo de tempo inferior a este (fase da tubulação - τ), a manobra de fechamento será dita rápida, senão manobra lenta.
- Para **manobras rápidas** a sobre/depressão por ser obtida por:

$$\Delta P = \frac{C \cdot v}{g}$$

ΔP – acréscimo de pressão, devido ao golpe de aríete (máximo), mca;
 v – velocidade do fluxo, m/s;
 g – aceleração da gravidade, m/s²

Chamada de Sobre/depressão máxima

Exemplo para o caso em estudo: $L = 580$ m, $D = 118,20$ mm, $Q = 0,03$ m³/s, $C = 381,34$ m/s.

$$\tau = (2 \cdot 580)/381,34 = 3,04 \text{ s}$$

- Para **manobras lentas** (fórmula de Michaud, Vensano):

$$\Delta P = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot t}$$

L – comprimento da tubulação, m;
 t – tempo de fechamento do registro (válvula, etc.), s.

$$V = 4 \cdot 0,03 / (\pi \cdot 0,1182^2)$$

$$V = 2,73 \text{ m/s.}$$

$$\Delta P = \frac{381,34 \times 2,73}{9,80} = 106,23 \text{ mca}$$

Cálculo da sobre/depressão

- Denomina-se de fase ou período da canalização (τ) o tempo que a onda de sobrepressão leva para ir e voltar de uma extremidade a outra da tubulação: $\tau = (2 \cdot L) / C$.
- Se a interrupção do fluxo se der num intervalo de tempo inferior a este (fase da tubulação - τ), a manobra de fechamento será dita rápida, senão manobra lenta.
- Para **manobras rápidas** a sobre/depressão por ser obtida por:

$$\Delta P = \frac{C \cdot v}{g}$$

ΔP – acréscimo de pressão, devido ao golpe de aríete (máximo), mca;
 v – velocidade do fluxo, m/s;
 g – aceleração da gravidade, m/s²

Chamada de Sobre/depressão máxima

- Para **manobras lentas** (fórmula de Michaud, Vensano):

$$\Delta P = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot t}$$

L – comprimento da tubulação, m;
 t – tempo de fechamento do registro (válvula, etc.), s.

A sobrepressão máxima será de ≈ 106 mca e a pressão na tubulação ≈ 54 mca, como a classe de pressão é 60 mca, conclui-se que a tubulação estará em risco de ruptura sob golpe de aríete máximo. Qual seria o tempo de fechamento mínimo seguro?

Cálculo da sobre/depressão

- Denomina-se de fase ou período da canalização (τ) o tempo que a onda de sobrepressão leva para ir e voltar de uma extremidade a outra da tubulação: $\tau = (2 \cdot L)/C$.
- Se a interrupção do fluxo se der num intervalo de tempo inferior a este (fase da tubulação - τ), a manobra de fechamento será dita rápida, senão manobra lenta.
- Para **manobras rápidas** a sobre/depressão por ser obtida por:

$$\Delta P = \frac{C \cdot v}{g}$$

ΔP – acréscimo de pressão, devido ao golpe de aríete (máximo), mca;
 v – velocidade do fluxo, m/s;
 g – aceleração da gravidade, m/s²

Chamada de Sobre/depressão máxima

$$\Delta P = 6 \text{ mca } (60 - 54)$$

Rearranjando a equação (manobra lenta), tem-se:

- Para **manobras lentas** (fórmula de Michaud, Vensano):

$$\Delta P = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot t}$$

L – comprimento da tubulação, m;
 t – tempo de fechamento do registro (válvula, etc.), s.

$$t = \frac{2 \cdot L \cdot v}{(\Delta P \cdot g)}$$

$$t = \frac{2 \cdot 580 \cdot 2,73}{(6 \cdot 9,80)} \quad t \cong 54 \text{ s}$$

Danos causados em equipamentos hidráulicos pelo golpe de aríete



<https://docplayer.com.br/88725884-Golpe-de-ariete-e-controle-hidraulico-em-adutoras-de-irrigacao-e-fertirrigacao.html>

Tubulações estranguladas pelo golpe de ariete



Fontes:

<http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Fernando/leb472>

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/158935/001022394.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



Na Califórnia adutora com 1,00 m de diâmetro colapsa.

Tubulação estrangulada pelo golpe de aríete

Fonte:
<https://eg.uc.pt/bitstream/10316/38452/1/Analise%20de%20critérios%20de%20di%20mencionamento%20de%20ventosas%20e%20m%20sistemas%20adutores.pdf>



Desastre em Shelbyville em 24/08/2015. Tubulação pluvial colapsa e provoca afundamento de estacionamento.



<https://youtu.be/FGzRnuQ5dbY>

Exercício A-12-a

Calcule a sobrepressão máxima de uma tubulação de aço com 27" de diâmetro (700 mm), $e = 1/4"$, $L = 250$ m, $v = 3,60$ m/s, $t = 2,1$ s (manobra lenta), carga $H = 50$ m, relação $D/e = 108$, celeridade $c = 980$ m/s.

Solução:

$$\tau = \text{fase} = \frac{2 \times L}{c} = \frac{2 \times 250}{980} = 0,51 \text{ s.}$$

a) Sobrepressão máxima (Michaud, Vensano):

$$h_a = \frac{2 \times 250 \times 3,60}{9,8 \times 2,1} = 87 \text{ m}$$

b) De Sparre:

$$h_a = \frac{2 \times 250 \times 3,60}{9,8 \times 2,1} \times \frac{1}{2 \times \left[1 - \frac{250 \times 3,60}{2 \times 9,8 \times 2,1 \times 50} \right]} = 78 \text{ m}$$

c) Teoria inelástica (Johnson):

$$h_a = \frac{250 \times 3,60}{2 \times 9,8^2 \times 50 \times 2,1^2} \times \left[250 \times 3,60 \times \sqrt{4 \times 9,8^2 \times 50^2 \times 2,1^2 \times 250^2 \times 3,60^2} \right] = 67 \text{ m}$$

d) Allievi:

Calculam-se:

$$k = \frac{c \times v}{2 \times g \times H} = \frac{980 \times 3,60}{2 \times 9,8 \times 50} = 3,60$$

e

$$N = \frac{t}{\tau} = \frac{2,1}{0,51} \cong 4$$

Na interseção de $N = 4$ e $k = 3,60$, encontra-se:

$$\frac{H + h_a}{H} = 2,40 \quad (\text{Figura A-12.5-a})$$

$$\frac{50 + h_a}{50} = 2,40 \therefore h_a = 50 \times 2,40 - 50 = 70 \text{ m}$$

Exercício A-12-b

Um conduto de aço, com 500 m de comprimento, 0,80 m de diâmetro e 12 mm de espessura, está sujeito a uma carga de 250 m (*Figura A-12-b*). A válvula localizada no ponto mais baixo é manobrada em 8 s. Qualificar o tipo de manobra e determinar a sobrepressão máxima. A velocidade média na canalização é de 3 m/s.

Solução:

Para a canalização considerada, a celeridade será:

$$c = \frac{9.900}{\sqrt{48,3 + 0,5 \times \frac{0,800}{0,012}}} = 1.098 \text{ m/s}$$

(valor esse que poderia ser obtido na *Tabela A-12.3-a*).

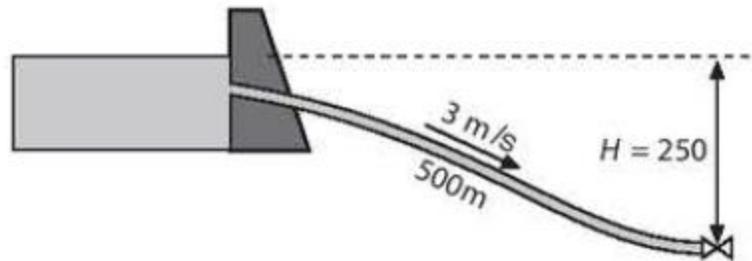


Figura A-12-b

$$\tau = \frac{2 \times L}{c} = \frac{2 \times 500}{1.098} = 0,91 \text{ s}$$

Portanto o tempo de manobra é maior,

$$t = 8 \text{ s} > 0,91 \text{ s}$$

e a manobra pode ser qualificada como lenta.

Nesse caso, a sobrepressão:

$$h_a = \frac{1.098 \times 3}{9,8} \times \frac{0,91}{8} = 38,2 \text{ m}$$

$$\text{Pressão total} = H + h_a = 250 + 38,2 = 288,2 \text{ m}$$

Medidas de proteção

- Instalação de vál. de retenção de fechamento controlado (vál. de alívio);
- Usar tubos com classe de pressão que resista ao golpe (em geral capazes de suportar 2 vezes a H_{man});
- Limitar a velocidade de fluxo (**ameniza**);
menor velocidade menor o golpe.
- Usar equipamentos especiais tipo, ventosas, chaminés, câmaras de ar comprimido, volante de inércia, etc.

Exemplo de uma válvula de alívio Blondelet. →

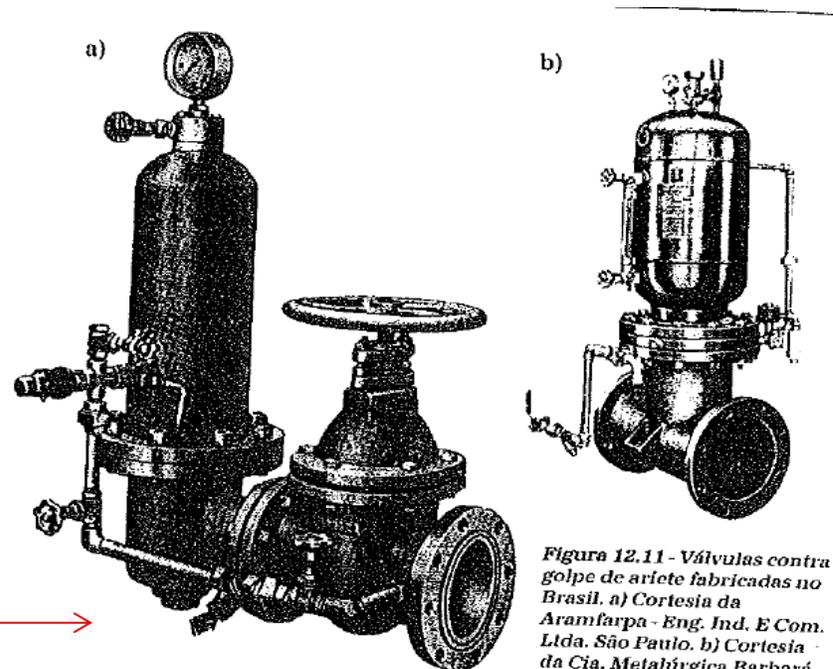


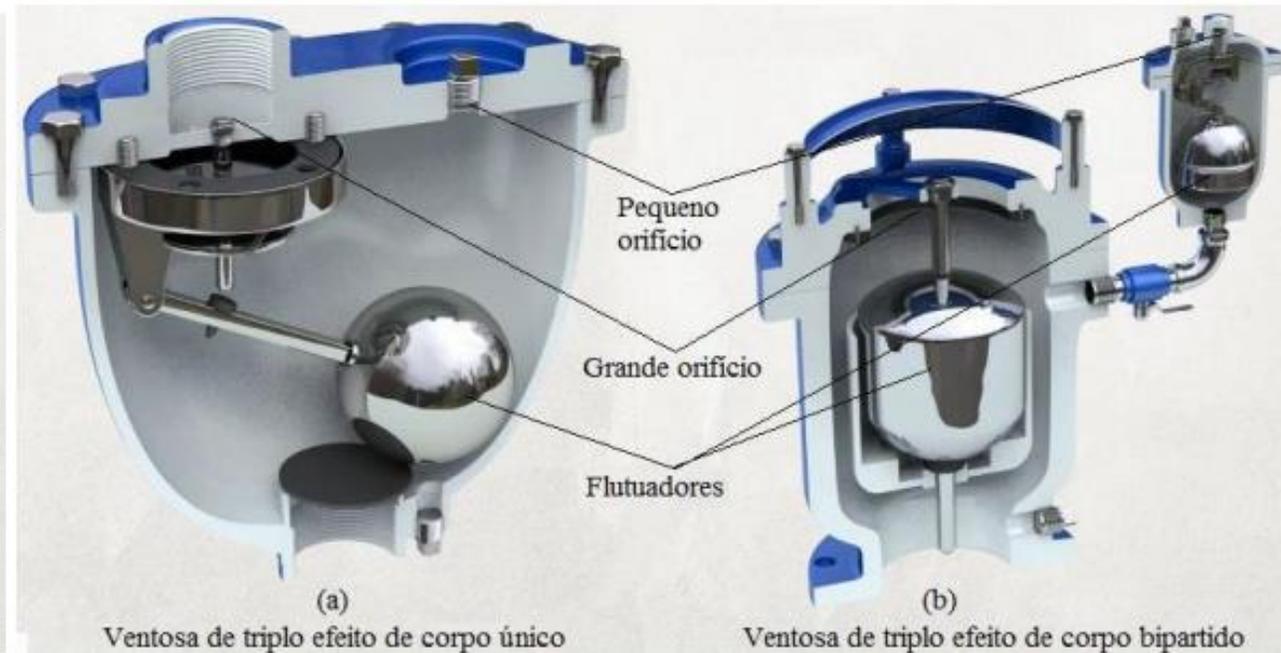
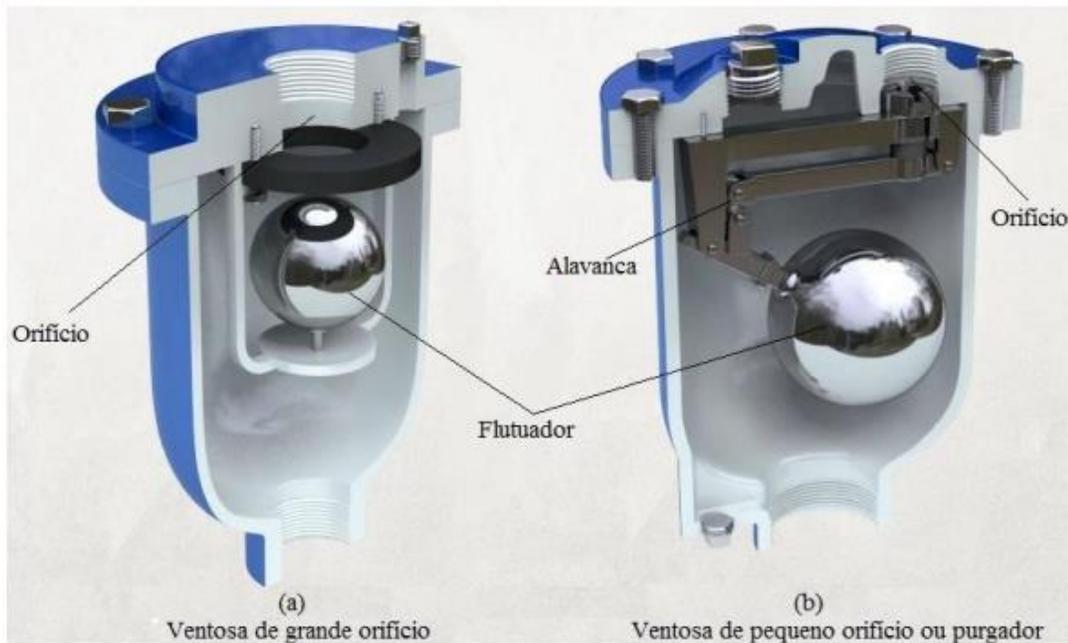
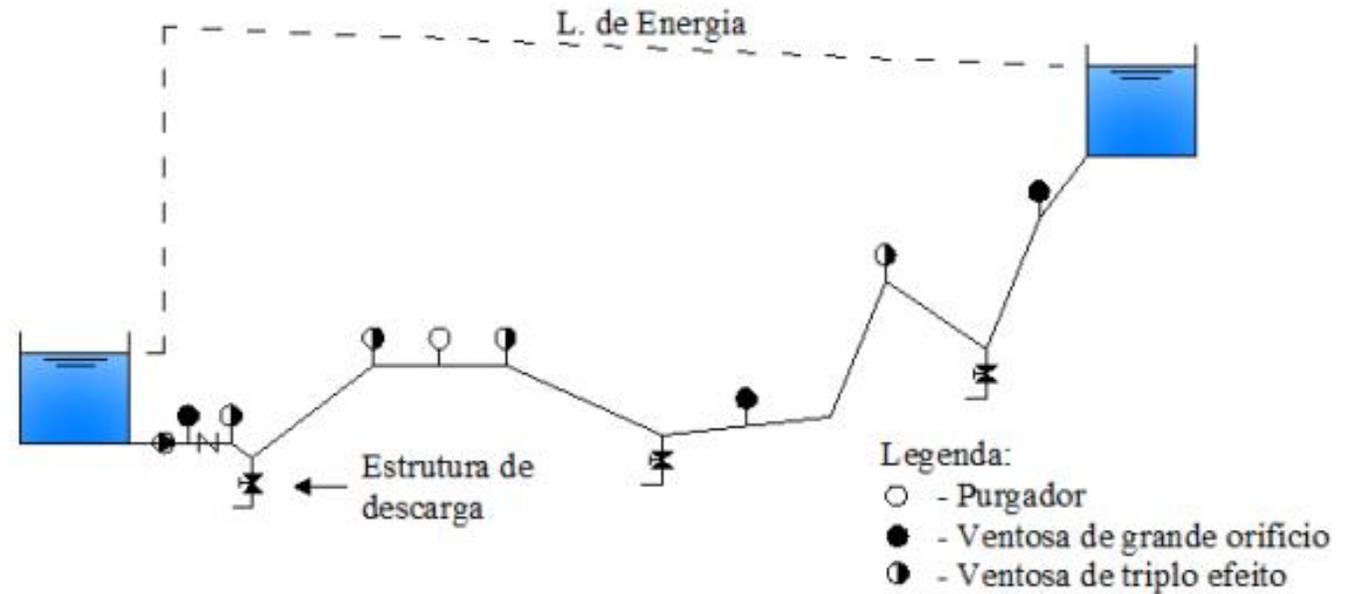
Figura 12.11 - Válvulas contra golpe de aríete fabricadas no Brasil. a) Cortesia da Aramfarpa - Eng. Ind. E Com. Ltda. São Paulo. b) Cortesia da Cia. Metalúrgica Barbará, São Paulo

QUADRO 12.2 – Válvulas tipo alívio contra golpes de ariete. Dados práticos (Golden-Anderson)

Vazões da linha	Tamanho da válvula
Até 45 ℓ/s	60 mm (2½")
60	75 mm (3")
125	100 mm (4")
300	150 mm (6")
500	200 mm (8")
800	250 mm (10")
1 200	300 mm (12")
1 500	350 mm (14")
2 000	400 mm (16")
2 500	450 mm (18")
3 000	500 mm (20")
4 500	600 mm (24")

Dispositivos para controle

Válvulas ventosas



Câmaras de ar comprimido e volante de inércia

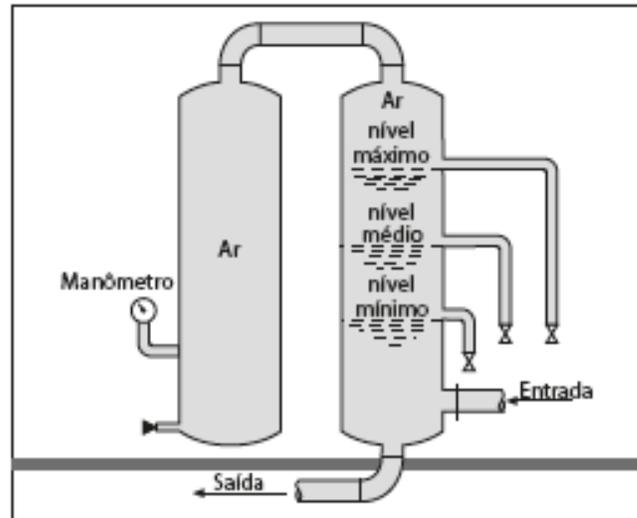
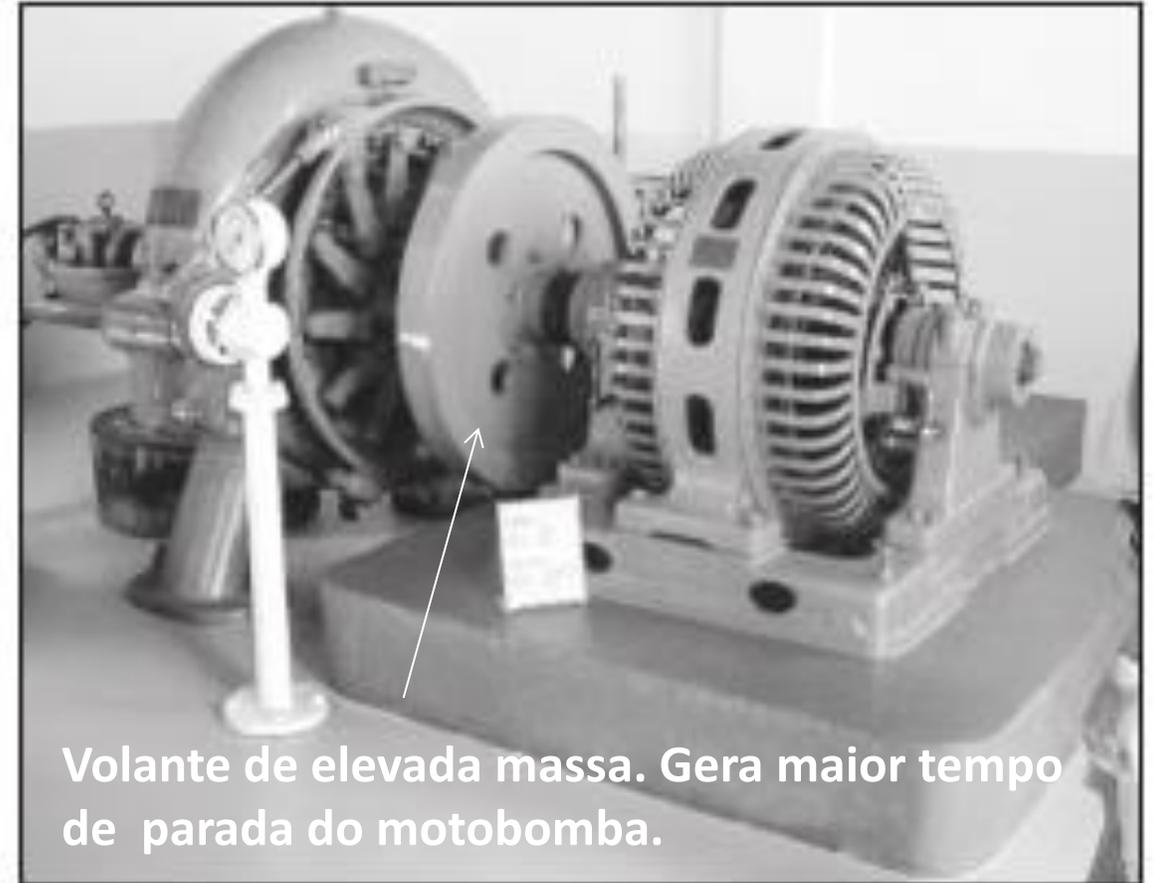


Figura A-12.7.3.1-d – Câmaras de ar comprimido.

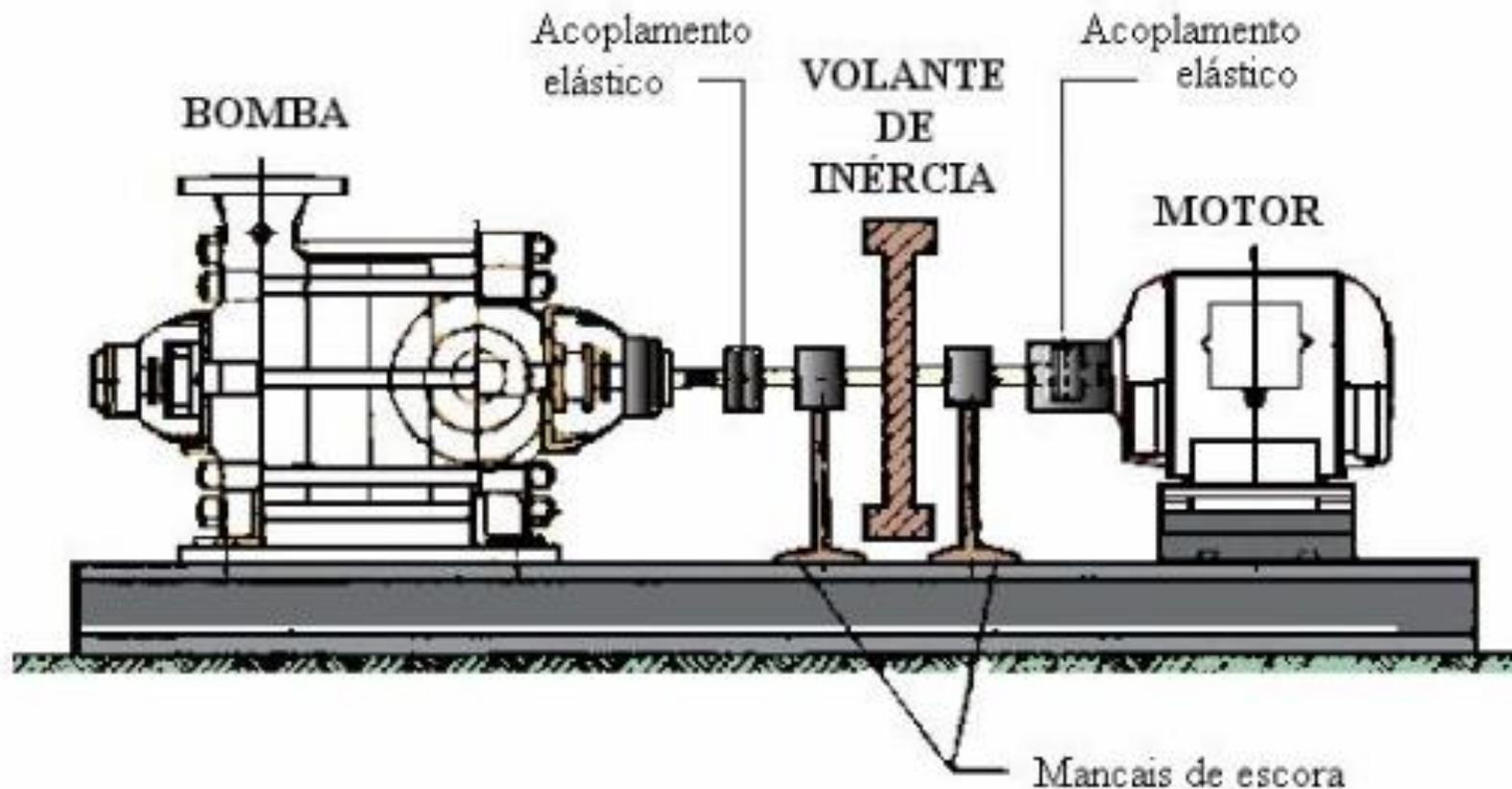
Para as câmaras recomenda-se capacidades correspondentes de 10 a 20 s da vazão máx. de escoamento.



Volante de elevada massa. Gera maior tempo de parada do motobomba.

Figura A-12.7.4-a – Foto tirada em 05/04/2003 na usina hidrelétrica de Foz do Areia no Paraná. Notar o volante de inércia entre o gerador e a turbina (já fora de operação, expostos no local).

Volante de inércia



Válvulas de alívio

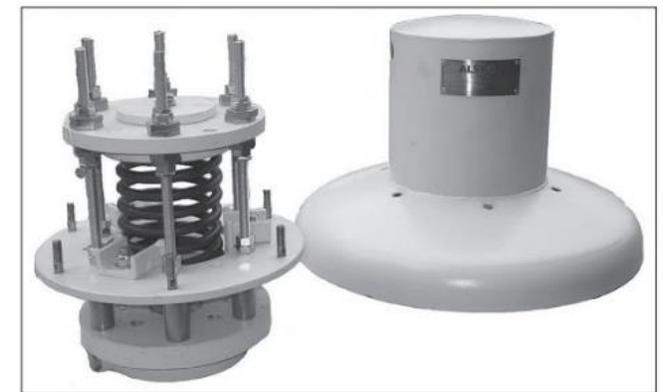
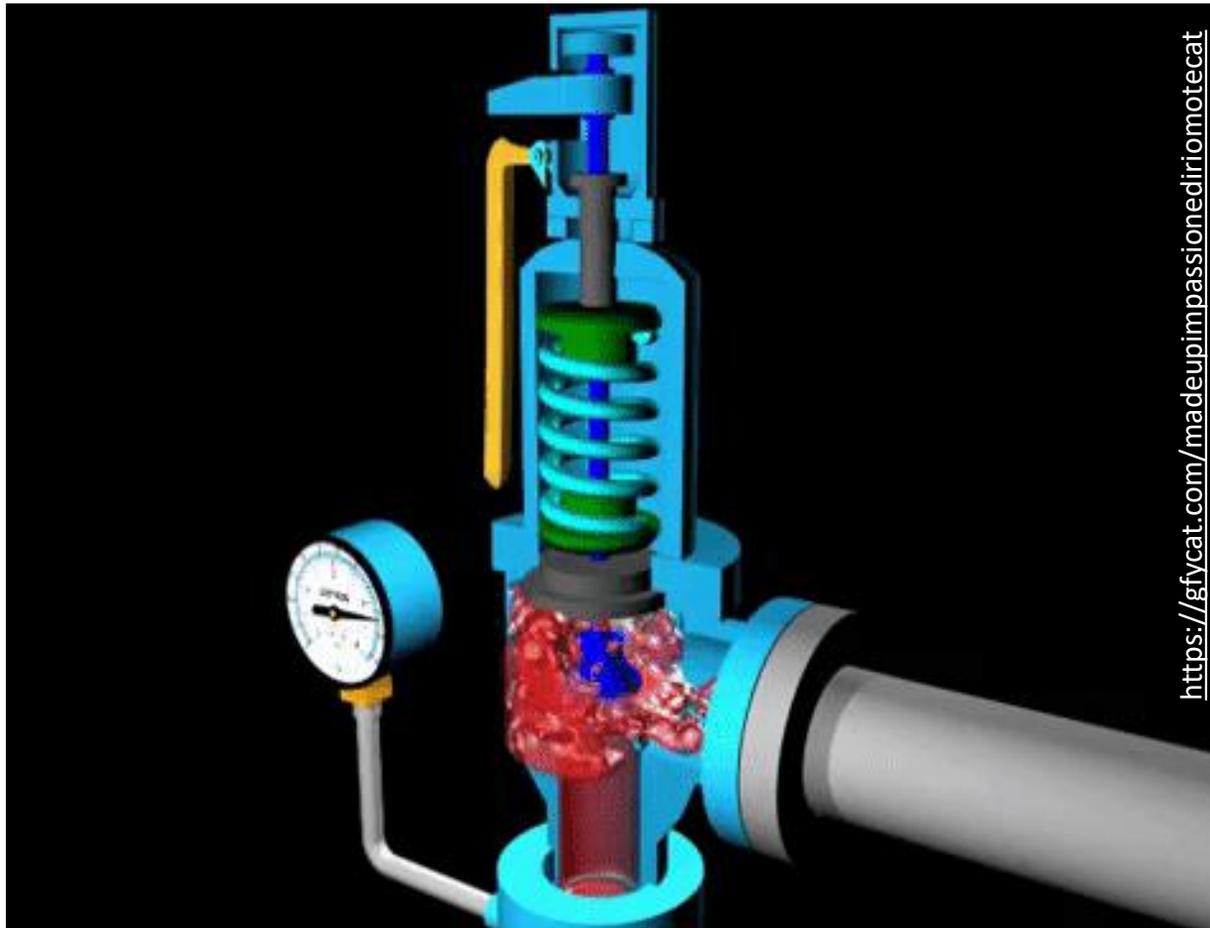


Figura A-12.7.1-a – Modelo de válvula de alívio tipo “vam” com mola metálica espiralada (Bib. A460).

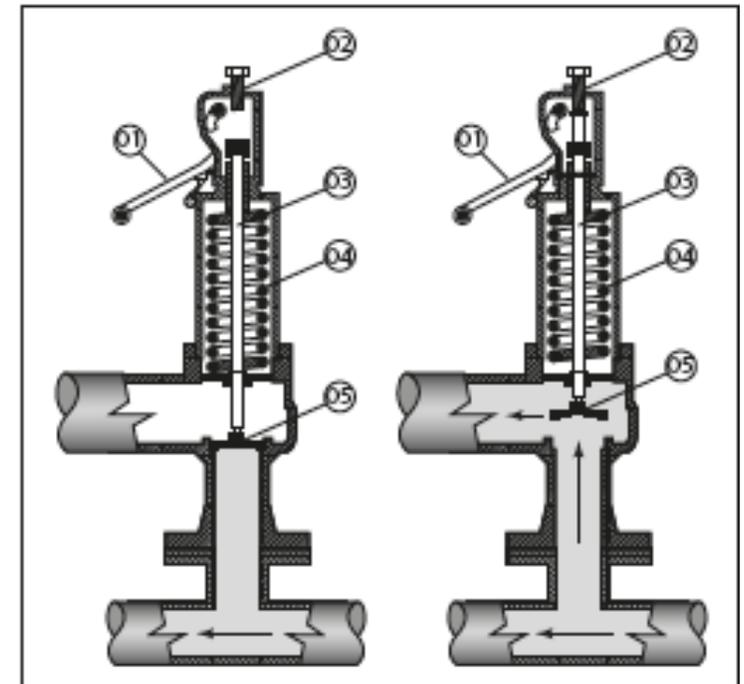


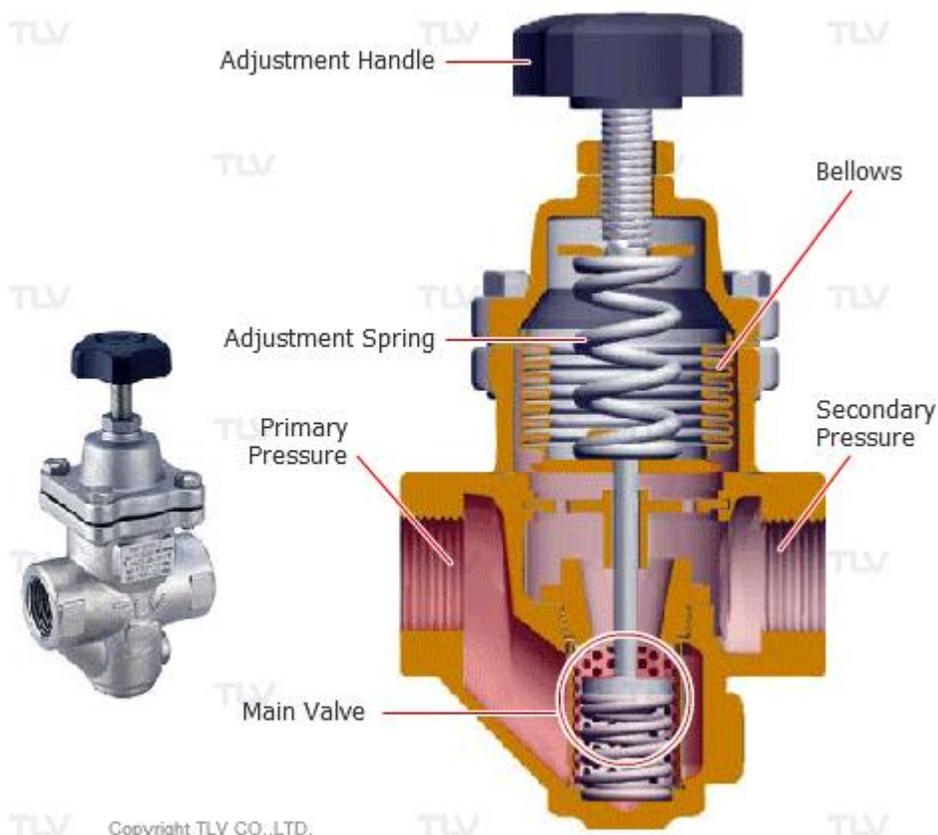
Figura A-12.7.1-b – Corte de válvula de alívio tipo “vam” com mola metálica espiralada.

01 – Alavanca para travamento da haste na posição “aberta”; 02 – Parafuso bloqueador; 03 – Haste; 04 – Mola; 05 – Disco de vedação.

Fonte: Manual de Hidráulica – Azevedo Netto et al. (2018).

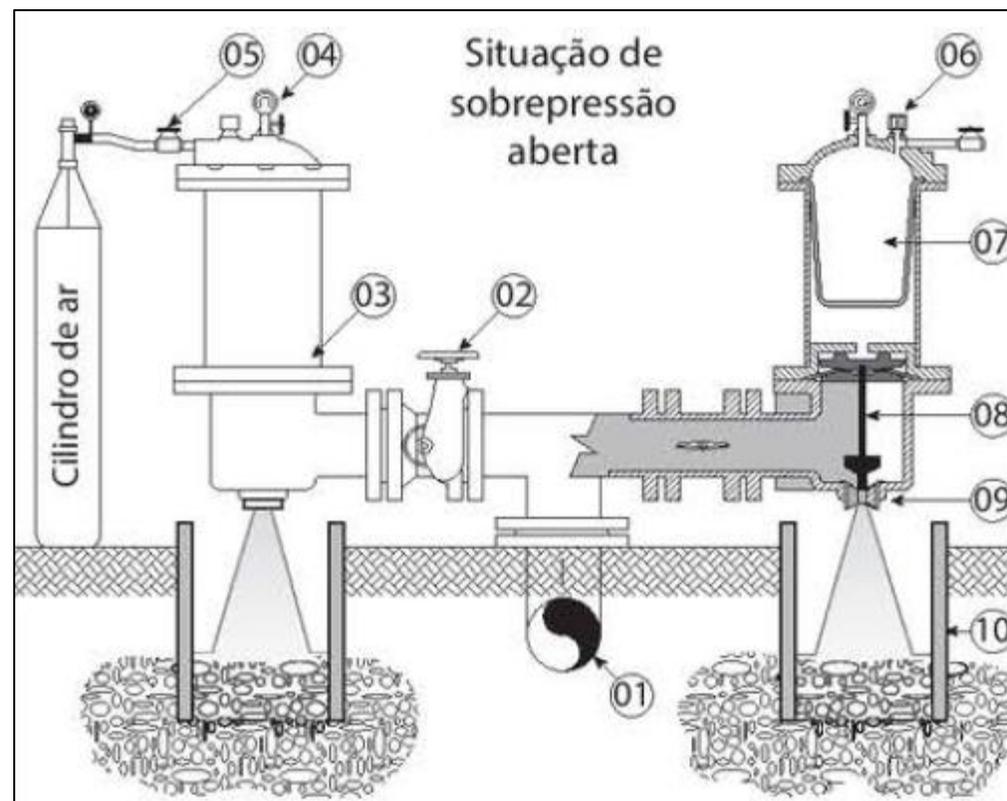
Válvulas de alívio

Funcionamento similar a válvula reguladora de pressão



<https://www.dicasdeinstrumentacao.com/principio-da-valvula-de-controle-de-pressao-auto-atuada-auto-operada/>

Válvula de alívio tipo VAC (ar comprimido)



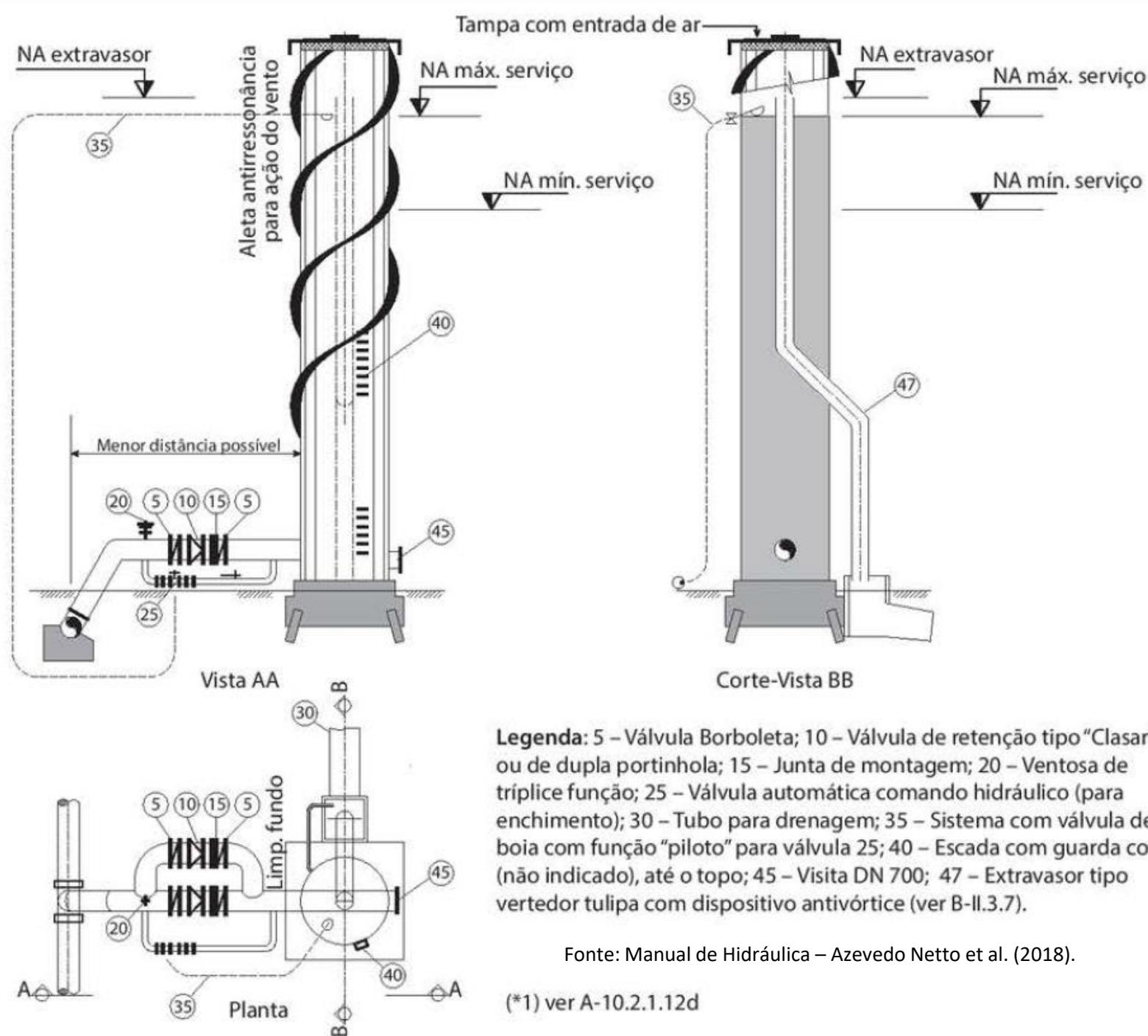
Fonte: Manual de Hidráulica – Azevedo Netto et al. (2018).

01 - Tubulação a ser protegida; 02 - Válvula com função seccionadora (borboleta ou gaveta), normalmente aberta; 03 - Cilindro contendo a câmara de ar comprimido; 04 - Manômetro; 05 - Válvula de enchimento de ar; 06 - Purga de ar; 07 - Câmara de ar comprimido; 08 - Haste; 09 - Orifício de saída do jato de água; 10 - Poço.

Tanques unidirecionais

Para abertura instantânea.

- tipo "tau": com pressão atmosférica;
- tipo "tbu": por ar comprimido.



Fonte: Manual de Hidráulica – Azevedo Netto et al. (2018).

(*1) ver A-10.2.1.12d

Chaminés

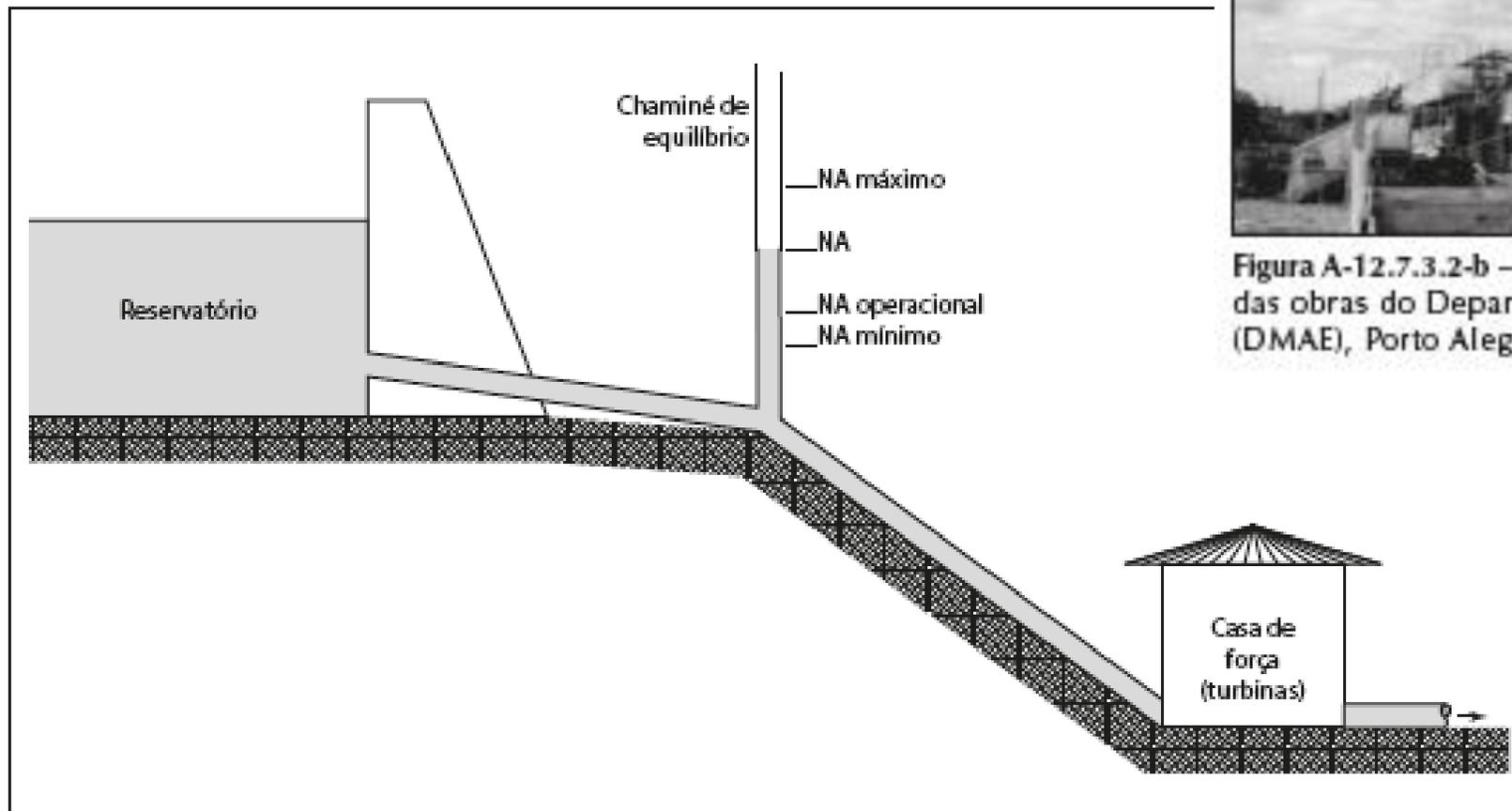


Figura A-12.7.3.2-a – Desenho esquemático de um sistema com chaminé de equilíbrio.



Figura A-12.7.3.2-b – Chaminé de equilíbrio – equipamento das obras do Departamento Municipal de Águas e Esgotos (DMAE), Porto Alegre, RS.

Chaminés



Fonte: acervo pessoal.



Chaminé

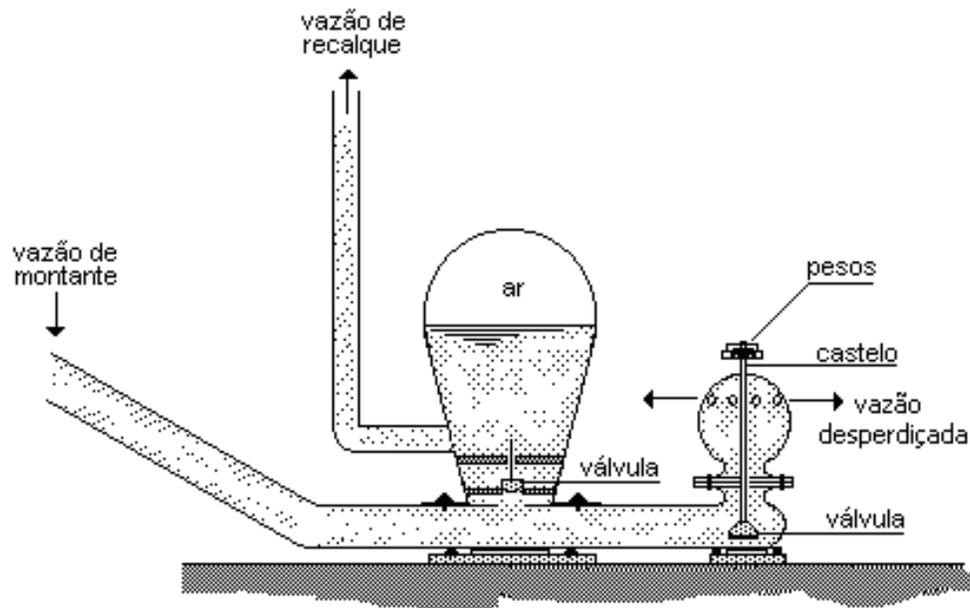
Estação de bombeamento principal do DINC

Fonte: acervo pessoal.

Carneiro hidráulico

Ou aríete hidráulico foi inventado na França em 1796, pelos irmãos Montgolfier (Daker, 1987).

É uma máquina motriz e geratriz que aproveita-se da própria energia hidráulica (durante o golpe de aríete) para faz-se recalcar água a várias alturas.



Fonte: DEC (2009) adaptado.



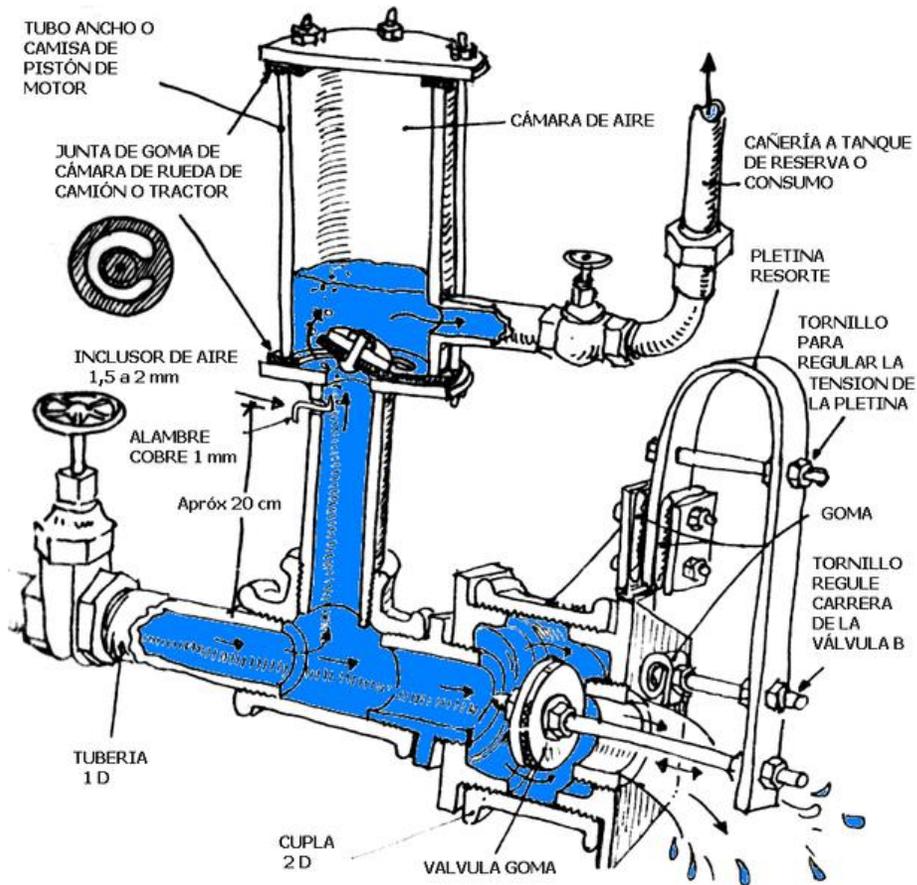
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=-etsRtF20Bo>

MANUTENÇÃO DO CARNEIRO HIDRÁULICO MARTELO A CADA 06 MESES - CASTELO E JUNTA DE COURO A CADA 01 ANO

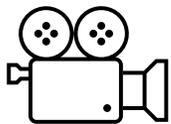
NÚMERO DAS PEÇAS

PARA ENCOMENDAS DE PEÇAS AVULSAS, SOLICITAMOS ESPECIFICAR PELOS NÚMEROS ACIMA, INDICANDO TAMBÉM O NÚMERO DO CARNEIRO AO QUAL SE DESTINAM.

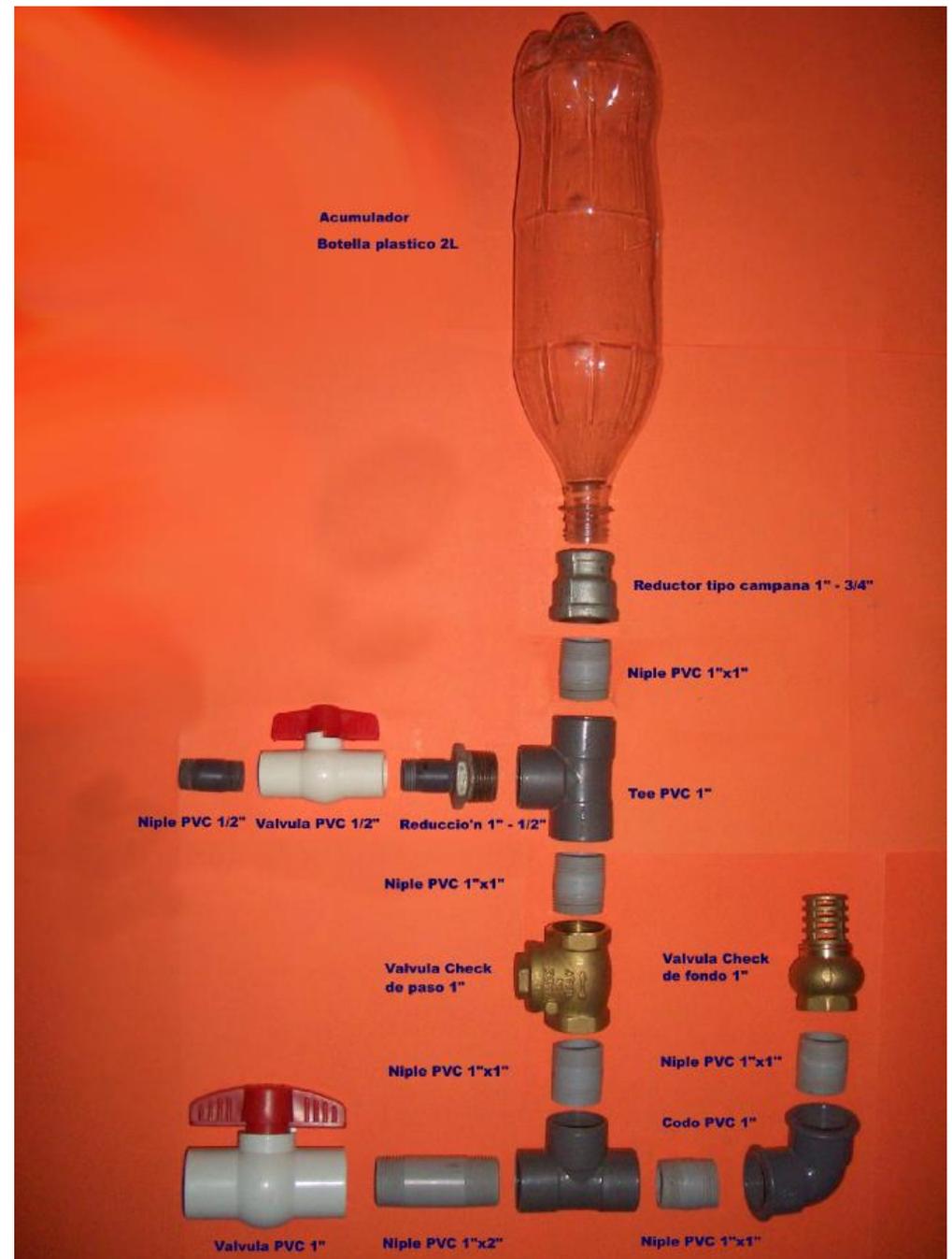
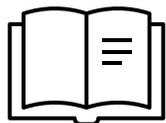
Fonte: <http://www.bombamarumby.com.br/p/bombas.html>



Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ariete_hidr%C3%A1ulico_02c.png



Veja reportagem do globo rural sobre o carneiro
<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Pesquisa-e-Tecnologia/noticia/2015/05/carneiro-hidraulico-faz-sucesso-nas-pequenas-propriedades-de-sc.html>



Fonte: Javier Vargas Rodríguez - BOMBA DE ARIETE HIDRAULICO.

PREÇOS DE CARNEIROS HIDRÁULICOS



Carneiro Hidráulico Globo Rural $\frac{3}{4}$ ",
720 a 1.200 L/d, preço R\$ 161,66,
em 14/07/2021 no site das
Americanas.



Carneiro Hidráulico Marumby, preços: R\$ 1.499,00
Nº 3; R\$ 1.799,00 Nº 4; R\$ 1.983,00 Nº 5; R\$
3.670 Nº 6 e R\$ 3.211,91 Nº 7.
14/07/21 no Mercado livre.



Cálculos

$$q = \frac{Q \times h}{H} \times \eta \quad \eta = \frac{q \times H}{Q \times h}$$

Em que: q – vazão recalçada, L min⁻¹; Q – vazão captada, L min⁻¹; h – altura de queda entre a fonte de captação e o aríete, m; H – altura de elevação total, m; e η – rendimento do aríete, decimal.

25 a 40 batidas/min – MAIOR vazão recalçada porém, menor rendimento.
60 a 90 batidas/min – MENOR vazão recalçada porém, maior rendimento.
Fonte: Daker (1987).

h mín. 0,45 m, ideal ≥ 1,00 m.

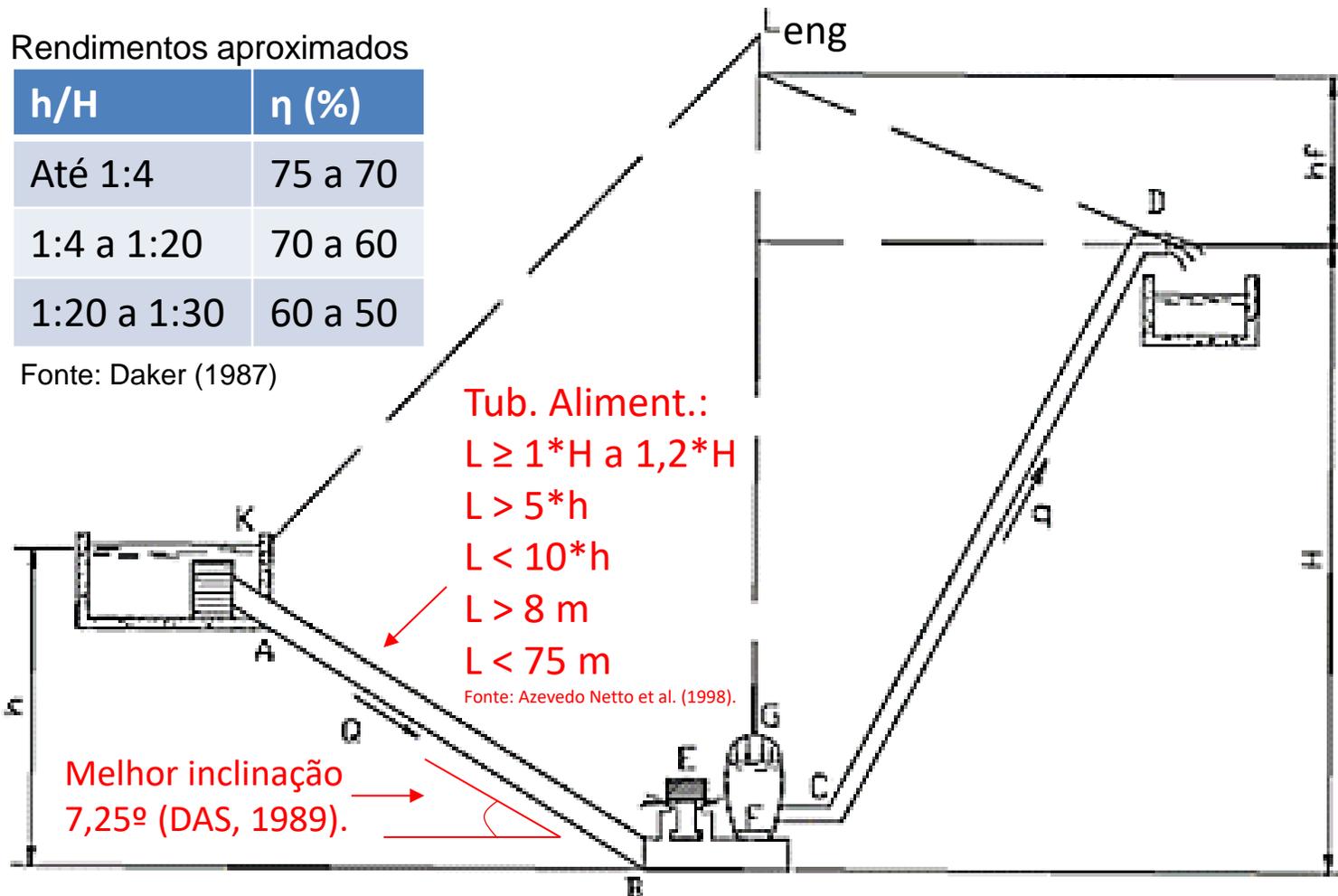
h máx. 7,50 a 9,00 m.

Fonte:
<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-20181127-161929/publico/AbateCaroline.pdf>

Rendimentos aproximados

h/H	η (%)
Até 1:4	75 a 70
1:4 a 1:20	70 a 60
1:20 a 1:30	60 a 50

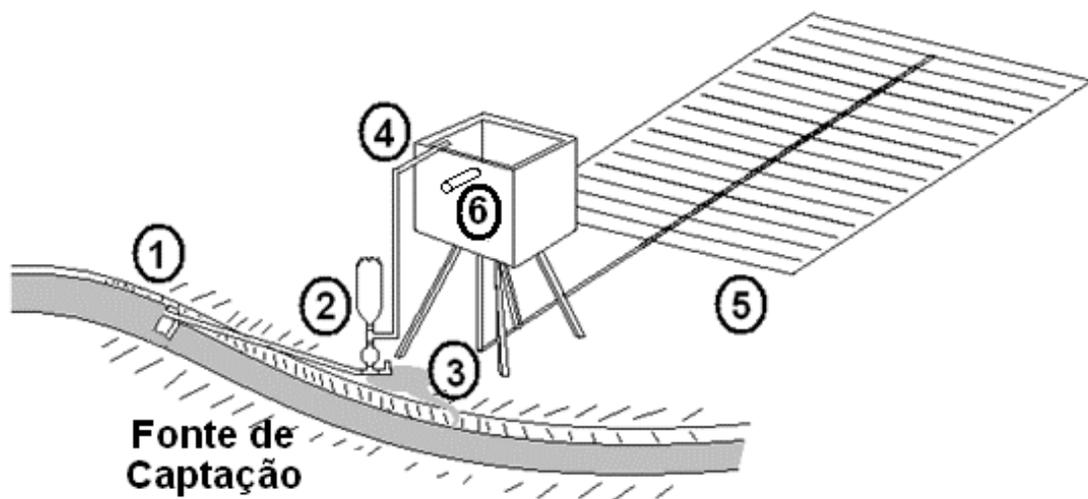
Fonte: Daker (1987)



Esquema funcional de um aríete hidráulico. A – ponto de ligamento entre a tubulação de alimentação (L) e o reservatório de captação; B – ponto de ligamento entre a tubulação de alimentação e o aríete hidráulico; C – início da tubulação de recalque; D – extremidade final da tubulação de recalque; E – Válvula de escapamento; F – válvula de retenção; G – câmara de ar ou campânula; H – altura de elevação; h – altura de alimentação; hf – perda de carga na tubulação de recalque; KL_{eng} – linha de energia decorrente do golpe de aríete ocasionado. Fonte: Daker (1987) | Alberto Daker - A água na agricultura: Captação, elevação e melhoramento da água. Livraria Freitas Bastos. v. 02, 7ª ed. 1987. 408p.

Projeto PIBITI – 2010

DESENVOLVIMENTO DE PLANILHAS ELETRÔNICAS PARA PROJETAR SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO COM ARÍETES HIDRÁULICOS VISANDO À AGRICULTURA FAMILIAR. Orientado: Felipe N. Almeida.



Esquema de instalação do sistema de aproveitamento de águas de rio para irrigação utilizando-se do carneiro hidráulico. 1 – captação; 2 – aríete hidráulico; 3 – reaproveitamento da água desperdiçada; 4 – caixa d'água; 5 – área a ser irrigada com o sistema xique-xique; e 6 – tubo "ladroão" (regularizador).

À AGRICULTURA FAMILIAR

DADOS CADASTRAIS

PROPRIETÁRIO: Luiz Augusto
 PROPRIEDADE: SÍTIO MORRO DO TANQUINHO

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Desnível do Reservatório à área Irrigada	2
Desnível na direção do comprimento	2
Área a ser Irrigada (ha)	0,3
Desnível na direção do fluxo (m)	0
Situação do Desnível (aclave=1) - (Declive=2)	0

TELA INICIAL
CÁLCULOS HIDRÁULICOS

L	=	20	m	Comprimento da Tubulação
C	=	6,56	m.s ⁻¹	Celeridade ou velocidade de propagação da onda de pressão causada (ver cálculo da celeridade abaixo)
T	=	6,10	s	Fase ou período de exposição da canalização a variação de pressão
v	=	5	m/s	Velocidade do fluxo
t	=	2	s	tempo de fechamento das válvulas
AP	=	10,19	m.c.a	Acréscimo de pressão do ariete

CÁLCULO DA CELERIDADE

Ea	=	2,11	Pa	Elasticidade da água
ρ	=	1000	kg.m ³	Densidade ou massa específica da água
Ec	=	0,25	Pa	Elasticidade do material do conduto *
D	=	35,7	mm	Diâmetro interno do tubo *
k	=	6,6	adm	coeficiente de elasticidade do conduto *
e	=	1,4	mm	Espessura da parede do tubo *
c ¹	=	8,78	m.s ⁻¹	cálculo da celeridade (1)
c ²	=	509,1	m.s ⁻¹	cálculo da celeridade (2)

obs: os dados mesclados (*), devem ser verificados na tabela de auxílio

TABELA DE AUXÍLIO

APLICATIVOS

TABELAS DE AUXÍLIO

APLICATIVOS

TELA ANTERIOR

CONVERSÃO
DE UNIDADES

TUBULAÇÃO

Exercícios

1. Uma adutora, de PVC, de 500 m, com 189,2 mm de diâmetro interno, parede de 5,4 mm, conduz 62 L/s a uma altura manométrica total de 35 mca. Pede-se que:

- A) Determine o tempo mínimo de fechamento dos registros para que a manobra seja considerada lenta.
- B) No caso de um fechamento rápido, qual será a sobre/depressão ocasionada?
- C) Se o fechamento for realizado em 5 e 15 vezes o período da canalização, qual será a sobre/depressão ocasionada?
- D) Qual deve ser o tempo de fechamento para gerar sobre/depressão = 20 mca?

Exercício 12.2 – Um conduto de aço, com 500 m de comprimento, 0,80 m de diâmetro e 12 mm de espessura, está sujeito a um carga de 250 m. O registro localizado no ponto mais baixo é manobrado em 8 s. Qualificar o tipo de manobra e determinar a sobrepressão máxima. A velocidade média na canalização é de 3 m/s.

Fonte: Manual de Hidráulica – Azevedo Netto et al. (1998).

Exercícios

3. Necessita-se elevar água de um córrego a um reservatório por meio de um carneiro (ariete) hidráulico. A vazão de recalque é 7000 L/d, a altura de queda para o ariete é de 3,00 m e a altura de elevação 12 m. Considerando rendimento de 65% pede-se que se determine a vazão de captação e selecione o “carneiro” necessário para cada uma das tabelas abaixo:

TABELA 8-4
TAMANHOS E CARACTERÍSTICAS APROXIMADAS DOS CARNEIROS “CLEVERSON”, “QUEIROZ JÚNIOR”, “MARUMBY” ETC.

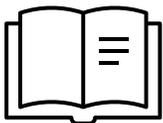
Tamanho	Diâmetro dos tubos (pol)		l/min neces. ao funcionamento		Queda mínima (m)	Peso (kg)
	Entrada	Saída	Mínimo	Máximo		
2	3/4	3/8	3	10	1,5	12
3	1	1/2	6	15	1,5	15
4	1 1/2	1/2	10	25	1,5	30
5	2	3/4	20	50	1,5	45
6	2 1/2	1	45	90	1,5	75
7	2 1/2	1 1/4	80	140	1,5	90

TABELA 8-5
TAMANHOS E CARACTERÍSTICAS APROXIMADAS DOS CARNEIROS TIPO “RIFE”

Tamanho	Diâmetro dos tubos (pol)		l/min neces. ao funcionamento		Queda mínima (m)	Peso (kg)
	Entrada	Saída	Mínimo	Máximo		
10	1 1/4	3/4	8	24	1	70
15	1 1/2	3/4	24	45	1	80
20	2	1	30	70	1	100
25	2 1/2	1	45	100	1	115
30	3	1 1/4	80	150	1	125
40	4	2	120	280	1,20	270
60	6	3	280	570	1,20	540
80	8	4	570	1140	1,20	1000
120	12	5	1420	2460	1,20	1360

TABELA 8-6
TAMANHOS E CARACTERÍSTICAS APROXIMADAS DOS CARNEIROS TIPO “JORDÃO”

Tamanho	Diâmetro dos tubos (pol)		l/min neces. ao funcionamento		Relação h/H máxima
	Entrada	Saída	Mínimo	Máximo	
0	3/4	1/2	1	10	1 : 30
00	1	1/2	3	20	1 : 30
000	1 1/2	1	7	45	1 : 30
1	1	1/2	3	20	1 : 40
2	1 1/2	1	7	45	1 : 40
3	2	1 1/4	20	90	1 : 40
4	3	2	40	200	1 : 40
5	4	2	80	360	1 : 40
6	6	3	200	800	1 : 40



Recomenda-se a leitura da tese:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/td-e-12022003-161510/publico/ricardo.pdf>

Fonte: Daker (1987).

Fim



Exercício 12.1

Calcular τ e as sobrepessões geradas para:

Tubulação de aço; Diâmetro = 27 in; Parede (e) = 1/4 in; L = 250 m;
v = 3,60 m/s; t = 2,1 s; H = 50 m. **Usar todas as fórmulas p/ man. lenta.**

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \cdot \frac{D}{e}}}$$

$$\tau = (2 \cdot L) / C$$

$$\Delta P = \frac{C \cdot v}{g}$$

Michaud, Vensano

$$h_a = \frac{2Lv}{gt}$$

De Sparre

$$h_a = \frac{2Lv}{gt} \frac{1}{2 \left[1 - \frac{Lv}{2gtH} \right]}$$

Teoria inelástica (Johnson, et al.)

$$h_a = \frac{Lv}{2g^2 H t^2} \left[Lv + \sqrt{4g^2 H^2 t^2 + L^2 v^2} \right]$$

Resolução:

K = 0,50 (pg 328)

$C = 9900 / (48,3 + 0,50 \cdot 27 / 0,25)^{0,5} = 978,81 \text{ m/s}$

Exercício 12.1

Calcular τ e as sobrepessões geradas para:

Tubulação de aço; Diâmetro = 27 in; Parede (e) = 1/4 in; L = 250 m;
v = 3,60 m/s; t = 2,1 s; H = 50 m. **Usar todas as fórmulas p/ man. lenta.**

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \cdot \frac{D}{e}}}$$

$$\tau = (2 \cdot L) / C$$

$$\Delta P = \frac{C \cdot v}{g}$$

Michaud, Vensano

$$h_a = \frac{2Lv}{gt}$$

De Sparre

$$h_a = \frac{2Lv}{gt} \frac{1}{2 \left[1 - \frac{Lv}{2gtH} \right]}$$

Teoria inelástica (Johnson, et al.)

$$h_a = \frac{Lv}{2g^2 H t^2} \left[Lv + \sqrt{4g^2 H^2 t^2 + L^2 v^2} \right]$$

Resolução: C = 978,81 m/s;

$$\tau = (2 \cdot 250) / 978,81 = 0,51 \text{ s}$$

Exercício 12.1

Calcular τ e as sobrepessões geradas para:

Tubulação de aço; Diâmetro = 27 in; Parede (e) = 1/4 in; L = 250 m;
v = 3,60 m/s; t = 2,1 s; H = 50 m. **Usar todas as fórmulas p/ man. lenta.**

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \cdot \frac{D}{e}}} \quad \tau = (2 \cdot L) / C \quad \Delta P = \frac{C \cdot v}{g}$$

Michaud, Vensano

$$h_a = \frac{2Lv}{gt}$$

De Sparre

$$h_a = \frac{2Lv}{gt} \frac{1}{2 \left[1 - \frac{Lv}{2gtH} \right]}$$

Teoria inelástica (Johnson, et al.)

$$h_a = \frac{Lv}{2g^2 H t^2} \left[Lv + \sqrt{4g^2 H^2 t^2 + L^2 v^2} \right]$$

Resolução: C = 978,81 m/s; $\tau = 0,51$ s

$$\Delta P (\text{máx}) = 978,81 \cdot 3,6 / 9,8 = 359,56 \text{ mca}$$

Exercício 12.1

Calcular τ e as sobrepessões geradas para:

Tubulação de aço; Diâmetro = 27 in; Parede (e) = 1/4 in; L = 250 m;
v = 3,60 m/s; t = 2,1 s; H = 50 m. **Usar todas as fórmulas p/ man. lenta.**

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \cdot \frac{D}{e}}}$$

$$\tau = (2 \cdot L) / C$$

$$\Delta P = \frac{C \cdot v}{g}$$

Michaud, Vensano

$$h_a = \frac{2Lv}{gt}$$

De Sparre

$$h_a = \frac{2Lv}{gt} \frac{1}{2 \left[1 - \frac{Lv}{2gtH} \right]}$$

Teoria inelástica (Johnson, et al.)

$$h_a = \frac{Lv}{2g^2 H t^2} \left[Lv + \sqrt{4g^2 H^2 t^2 + L^2 v^2} \right]$$

Resolução: C = 978,81 m/s; τ = 0,51 s; ΔP máx = 359,56 mca;

ha (Vensano, será chamado ha 1) = $2 \cdot 250 \cdot 3,6 / (9,8 \cdot 2,1) = 87,46$ mca

Exercício 12.1

Calcular τ e as sobrepessões geradas para:

Tubulação de aço; Diâmetro = 27 in; Parede (e) = 1/4 in; L = 250 m;
v = 3,60 m/s; t = 2,1 s; H = 50 m. **Usar todas as fórmulas p/ man. lenta.**

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \cdot \frac{D}{e}}}$$

$$\tau = (2 \cdot L) / C$$

$$\Delta P = \frac{C \cdot v}{g}$$

Michaud, Vensano

$$h_a = \frac{2Lv}{gt}$$

De Sparre

$$h_a = \frac{2Lv}{gt} \frac{1}{2 \left[1 - \frac{Lv}{2gtH} \right]}$$

Teoria inelástica (Johnson, *et al.*)

$$h_a = \frac{Lv}{2g^2 H t^2} \left[Lv + \sqrt{4g^2 H^2 t^2 + L^2 v^2} \right]$$

Resolução: C = 978,81 m/s; τ = 0,51 s; ΔP máx = 359,56 mca;

ha (1) = 87,46 mca;

ha (2) = $2 \cdot 250 \cdot 3,6 / (9,8 \cdot 2,1) \cdot 1 / (2 \cdot (1 - 250 \cdot 3,6 / (2 \cdot 9,8 \cdot 2,1 \cdot 50)))$

ha (2) = 77,72 mca

Exercício 12.1

Calcular τ e as sobrepessões geradas para:

Tubulação de aço; Diâmetro = 27 in; Parede (e) = 1/4 in; L = 250 m;
v = 3,60 m/s; t = 2,1 s; H = 50 m. **Usar todas as fórmulas p/ man. lenta.**

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \cdot \frac{D}{e}}}$$

$$\tau = (2 \cdot L) / C$$

$$\Delta P = \frac{C \cdot v}{g}$$

Michaud, Vensano

$$h_a = \frac{2Lv}{gt}$$

De Sparre

$$h_a = \frac{2Lv}{gt} \frac{1}{2 \left[1 - \frac{Lv}{2gtH} \right]}$$

Teoria inelástica (Johnson, et al.)

$$h_a = \frac{Lv}{2g^2 H t^2} \left[Lv + \sqrt{4g^2 H^2 t^2 + L^2 v^2} \right]$$

Resolução: C = 978,81 m/s; τ = 0,51 s; ΔP máx = 359,56 mca;

ha (1) = 87,46 mca; ha (2) = 77,72 mca;

ha (3) = $250 \cdot 3,6 / (2 \cdot 9,8^2 \cdot 50 \cdot 2,1^2) \cdot (250 \cdot 3,6 + (4 \cdot 9,8^2 \cdot 50^2 \cdot 2,1^2 + 250^2 \cdot 3,6^2)^{0,5}) = 66,86$ mca

Exercício 12.1

Calcular τ e as sobrepessões geradas para:

Tubulação de aço; Diâmetro = 27 in; Parede (e) = 1/4 in; L = 250 m;
v = 3,60 m/s; t = 2,1 s; H = 50 m. **Usar todas as fórmulas p/ man. lenta.**

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \cdot \frac{D}{e}}}$$

$$\tau = (2 \cdot L) / C$$

$$\Delta P = \frac{C \cdot v}{g}$$

Michaud, Vensano

$$h_a = \frac{2Lv}{gt}$$

De Sparre

$$h_a = \frac{2Lv}{gt} \frac{1}{2 \left[1 - \frac{Lv}{2gtH} \right]}$$

Teoria inelástica (Johnson, et al.)

$$h_a = \frac{Lv}{2g^2 H t^2} \left[Lv + \sqrt{4g^2 H^2 t^2 + L^2 v^2} \right]$$

Resolução: C = 978,81 m/s; τ = 0,51 s; ΔP máx = 359,56 mca;
ha (1) = 87,46 mca; ha (2) = 77,72 mca; ha (3) = 66,86 mca.

Exemplo de dados técnicos de carneiros hidráulicos

O equipamento é identificado pelo número (tamanho).

Ex.: carneio Nº 2, 3 etc.

Tabela 11.2 – Dados relativos a aríetes de fabricação nacional

Número do aparelho	Canos		Litros de água ocupada por minuto	Litros de água elevada em 1 hora			
	Carga	Descarga		6:1*	8:1	10:1	12:1
2	3/4"	3/8"	5	32	20	12	
			7	44	28	18	
3	1"	1/2"	7	44	28	18	11
			10	64	40	25	16
			15	95	60	38	24
4	1 1/2"	3/4"	15	95	60	38	24
			20	128	80	50	31
5	2"	1"	25	160	100	63	40
			35	225	140	88	55
			45	285	180	112	72
6	2 1/2"	1 1/4"	45	285	180	112	72
			60	380	240	150	95
7	3"	1 1/2"	75	480	300	186	120
			100	640	400	250	160
			125	800	500	330	200

* 6:1, 8:1, etc é a relação entre a altura a elevar e a queda de carga (H/h)