



INSTITUTO DE PLANEAMENTO E DA ADMINISTRAÇÃO DO TERRITÓRIO

COMISSÃO DE COORDENAÇÃO
DA REGIÃO CENTRO

**DIMENSIONAMENTO DE CONDUTAS ELEVATÓRIAS
EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

ASPECTOS ECONÓMICOS

(2ª edição)

Armando B. Silva Afonso

SÉRIE
**MONOGRAFIAS
TÉCNICAS**

1

Coimbra
1992

Ministério do Planeamento e da Administração do Território

COMISSÃO DE COORDENAÇÃO DA REGIÃO CENTRO

Armando B. Silva Afonso

Professor de Engenharia Civil (Instituto Politécnico de Coimbra)
Consultor da CCRC

**DIMENSIONAMENTO DE CONDUTAS ELEVATÓRIAS
EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

ASPECTOS ECONÓMICOS

(2ª edição)

Coimbra
1992

ISSN: 0871-5149
ISBN: 972-569-026-5
Depósito Legal nº: 55043/92

NOTA: Esta 2ª edição é a re-impressão, com ligeiras alterações, de uma publicação editada em 1984 pela Comissão de Coordenação da Região Centro.

Ficha técnica:

Responsável pela edição:	António José Cardoso
Processamento de texto:	Mário Matos, Vítor Duarte
Secção de offset:	
Fotografia:	Adelino Bandeira
Paginação e Montagem:	Adelino Bandeira
Transporte:	Henrique Taborda
Impressão:	Joaquim Felício

Edição da:

COMISSÃO DE COORDENAÇÃO DA REGIÃO CENTRO
R. Bernardim Ribeiro, 80 3000 Coimbra
Telefone: (039) 400198/9 Telex: 52185 Fax: (039) 723757

PREFÁCIO DA 2ª EDIÇÃO

Com a Série MONOGRAFIAS TÉCNICAS, tem pretendido a Comissão de Coordenação da Região Centro (CCRC) editar um conjunto de estudos de diversos colaboradores e investigadores com o objectivo de apoiar a acção dos municípios e dos Gabinetes de Apoio Técnico (GAT).

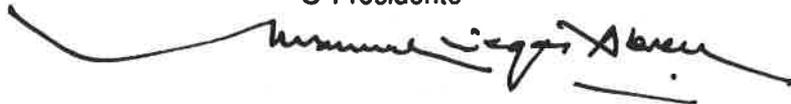
A procura de que têm sido alvò os quatro volumes já publicados incentiva-nos a prosseguir esta actividade editorial. Mas, para além de novos trabalhos, tem sido também preocupação da CCRC disponibilizar os volumes existentes a um vasto conjunto de técnicos e de estudantes do ensino superior da Região e do País. Designadamente, o primeiro volume desta série já obrigou a uma re-impressão e, agora, a esta 2ª edição.

A relevância do presente estudo está patenteada na sua profusa utilização no considerável volume de investimentos em infra-estruturas que obrigam à elevação de água para abastecimento às populações e que estão em execução, em projecto ou em intenção na Região Centro. Parte destes investimentos tem beneficiado de apoios de vária índole da CCRC, quer através da sua concepção pelos GAT, quer pela procura de formas de financiamento adequadas, como é o caso do FEDER.

A sublinhar a urgência na re-edição desta obra, está o facto de se ter procedido à impressão integral da 1ª edição, mantendo a ainda tão actual Nota Prévia do então Presidente da CCRC, Prof. Doutor Manuel Porto e apenas acrescentando um comentário técnico do autor e uma errata.

Coimbra, 6 de Abril de 1992

O Presidente

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Manuel Viegas Abreu', with a long horizontal flourish extending to the left.

(Prof. Doutor Manuel Viegas Abreu)

NOTA TÉCNICA DA 2ª EDIÇÃO

Decorridos cerca de 8 anos sobre o lançamento da 1ª Edição do presente estudo, e face à aceitação que obteve no meio técnico, decidi a Comissão de Coordenação da Região Centro concretizar uma 2ª Edição.

O essencial da presente publicação reside, sem dúvida, na fórmula prática proposta para o dimensionamento das condutas elevatórias em sistemas de abastecimento de água, sendo gratificante verificar a sua utilização crescente e generalizada nos últimos anos por numerosos projectistas, sendo aliás esta fórmula citada nos documentos preliminares do Novo Regulamento Geral de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais.

Após 10 anos sobre a elaboração do estudo que serviu de base à publicação, e ao concretizar esta 2ª Edição, entendeu por bem o autor aferir da sua validade nas condições económicas actuais, tendo concluído que se mantém plenamente a aplicabilidade da fórmula. É interessante referir que alguns dos considerandos que estiveram na base da sua dedução, como por exemplo a evolução a médio/longo prazo do custo do kwh, se cumpriram mesmo com um rigôr não habitual (por exemplo, o custo previsto há 10 anos para o kwh em 1991 era de 14\$48, tendo-se observado 14\$30/kwh).

Os anos que entretanto decorreram permitiram também introduzir na fórmula algumas generalizações que aumentaram o seu domínio de aplicabilidade. A fórmula inicial, que só era aplicável, por exemplo, a bombagens realizadas durante um período máximo de 16 h/dia, pode presentemente ser aplicada para qualquer período de bombagem, na sua recente versão:

$$D_i = 1,1 \left(\frac{N}{16} \right)^{0,25} Q_{20}^{0,45}$$

sendo D_i o diâmetro interno, expresso em metros, N o número de horas de bombagem por dia e Q_{20} o caudal de cálculo do sistema elevatório para o horizonte 0-20, expresso em m^3/s .

Esta 2ª Edição constitui também uma oportunidade para introduzir uma errata, uma vez que havia algumas incorrecções no texto da 1ª Edição.

Finalmente, espera o autor que esta publicação possa continuar a ser um bom auxiliar para todos os que exercem a sua actividade no âmbito da engenharia municipal.

Coimbra, Abril de 1992

O Autor
Armando B. Silva Afonso

ÍNDICE

0 - NOTA PRÉVIA	5
1 - INTRODUÇÃO	9
2 - UTILIZAÇÃO DE FORMAS EMPÍRICAS	10
2.1. - <i>Generalidades. Condicionamentos</i>	
- <i>Hidráulicos</i>	10
2.2. - <i>Fórmulas de Utilização Corrente</i>	11
2.3. - <i>Fórmula Proposta</i>	16
3 - ANÁLISE DE CUSTOS. BREVES CONSIDERAÇÕES	17
3.1. - <i>Análises de Custos em Obras de</i>	
<i>Saneamento Básico</i>	17
3.2. - <i>O Problema da Inflação</i>	18
3.3. - <i>Parâmetros Económicos</i>	18
4 - DIMENSIONAMENTO ECONÓMICO. EXEMPLO	22

0. NOTA PRÉVIA

Nas suas funções de apoio aos municípios e em geral ao progresso da Região, a Comissão de Coordenação da Região Centro é chamada a preocupar-se com problemas de índole muito diversa, que vão desde a análise e o planeamento económico e social a campos mais directos de intervenção, como por exemplo o do apoio de gestão e o do apoio na construção de infra-estruturas autárquicas.

Neste último campo o apoio técnico é proporcionado em primeira linha pelos GAT's, dotados de pessoal especializado que, localizado próximo dos municípios, tem vindo a produzir um trabalho que se multiplica na elaboração de projectos e no acompanhamento de obras. Pode dizer-se que os GAT's contribuíram de um modo muito importante para o êxito do poder local ao longo dos últimos anos, levando a melhorias muito substanciais na qualidade de vida e nas condições de actividade económica das suas populações.

As exigências crescentes que têm vindo a ser determinadas pela actividade autárquica têm por seu turno levado à progressiva necessidade de dotar os GAT's da indispensável capacidade de resposta, por vezes em campos relativamente especializados. Não quer todavia a Comissão, num caminho que a experiência continua a revelar como certo, criar nela própria uma estrutura pesada de apoio técnico mais especializado, eventualmente à custa do empobrecimento dos já tão desfalcados quadros dos GAT's. Parece-nos preferível que os engenheiros, os arquitectos e outros especialistas estejam a dirigir ou por qualquer outra forma a trabalhar nos próprios GAT's, valorizando o trabalho aí realizado e valorizando-se a eles próprios, com a experiência do dia a dia. A Comissão funciona antes como ponto de encontro, onde o aprofundamento de técnicas é feito através da permuta dos seus conhecimentos, por exemplo através da troca de projectos e

outras experiências-tipo. De um modo complementar, os serviços coordenadores da Comissão tomam iniciativas de interesse comum, fazendo estudos, promovendo acções de formação, organizando seminários, preparando programas de informática, divulgando informação técnica, etc..

Acções de algumas destas índoles têm vindo a ser levadas a cabo ao longo dos anos. Não tinha todavia sido ainda possível, com a escassez de pessoal e as muitas exigências de instalação dos GAT's durante os primeiros anos, proceder à publicação de estudos feitos no âmbito dos serviços. Chegou agora a ocasião de o fazermos, constituindo o trabalho que se apresenta o primeiro de uma série de monografias de carácter técnico que poderão revelar-se de interesse para a actividade dos Gabinetes. Mas em caso algum o que é por nós produzido fica limitado aos nossos serviços, tendo pelo contrário uma grande satisfação quando se revela de utilidade também para outros serviços, das autarquias, do estado ou privados. Num país onde infelizmente tão poucos estudos são produzidos, parece-nos inaceitável que deles não seja dada a devida divulgação.

O tema escolhido tem uma pertinência muito particular na época actual, de restrições financeiras e inflação, em que importa conseguir o máximo de racionalidade na concretização de sistemas de abastecimento de água. Conforme fica demonstrado, nem sempre um dimensionamento mais reduzido é mais económico, em termos globais, devendo por seu turno a inflação ser tida em conta nos cálculos a efectuar.

Trata-se, pois, de um estudo da maior relevância e da maior utilidade, que fica a dever-se ao colaborador da Comissão Eng. Armando Silva Afonso.

O PRESIDENTE

Armando Silva Afonso

(Professor Doutor Manuel Carlos Lopes Porto)

1. INTRODUÇÃO

Uma das situações em saneamento básico, em que a análise hidráulica é condicionada por razões de ordem económica, é precisamente na escolha do diâmetro a considerar para uma conduta elevatória de um sistema de abastecimento de água.

Na realidade, a utilização de pequenos diâmetros implica elevadas perdas de carga e, por consequência, maior potência na bombagem e maiores consumos de energia ao longo do horizonte da obra. Inversamente, a utilização de grandes diâmetros, implicando menor potência de bombagem, conduz a menores consumos de energia.

Verifica-se assim que as soluções de menor investimento inicial (menores diâmetros) correspondem em geral a encargos de exploração mais elevados (maiores consumos energéticos). Traduzindo o custo total da obra pelo somatório de dois termos (investimento inicial + encargos anuais de exploração), verifica-se assim que estes apresentam tendências de crescimento de sentido inverso.

Todavia, a função custo total apresenta em geral um mínimo dentro dos limites impostos por considerações de velocidades máxima e mínima, ou seja, o balanço económico das diversas hipóteses permite determinar, dentro dos limites de cálculo, o diâmetro a que corresponde o menor custo total, designado por «diâmetro económico».

Na figura 1 traduz-se graficamente, de uma forma simplista, a composição e desenvolvimento normalmente observados da função «custo total», assinalando-se o diâmetro mais económico.

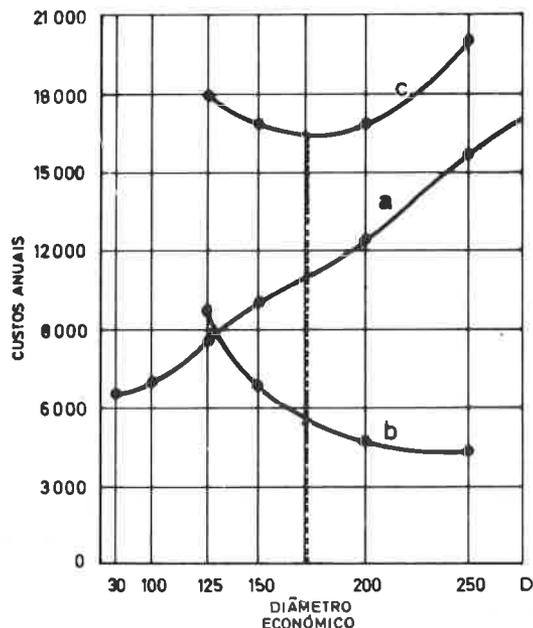


FIG.1 — COMPARAÇÃO GRÁFICA DE CUSTOS ANUAIS PARA DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO ECONÓMICO

2. UTILIZAÇÃO DE FÓRMULAS EMPÍRICAS

2.1. GENERALIDADES. CONDICIONAMENTOS HIDRÁULICOS

Tendo em vista reduzir a gama de diâmetros a considerar na análise de custos é habitual a utilização de fórmulas de pré-dimensionamento que, através de um cálculo simples, fornecem um diâmetro que será, em princípio, próximo do económico. Na realização do estudo económico consideram-se habitualmente os dois diâmetros comerciais (de um ou mais materiais) imediatamente superiores e inferiores ao fornecido pelo pré-dimensionamento, desde que satisfaçam os limites impostos para as velocidades máximas ou mínimas e os diâmetros mínimos admissíveis.

Recorde-se, sobre este assunto, que a Norma Portuguesa NP-837 recomenda, como velocidade máxima nas adutoras, o valor de 1,5 m/s, sendo habitual entre nós tomar como diâmetro mínimo em adutoras o valor de 50 mm, e em adutoras-distribuidoras o valor de 60 mm (80 mm quando alimentem bocas de incêndio, em aglomerados com mais de 20 000 habitantes).

★

Em Portugal, todavia, a grande dificuldade que actualmente existe em perspectivar a longo prazo os valores dos parâmetros económicos — e recorde-se que o horizonte dos sistemas de abastecimento de água é em geral próximo de 40 anos — tem levado a que, em pequenas instalações, se considere dispensável a realização destas comparações de custos.

Na verdade, nestes casos, o pormenor e a complexidade da análise de custos não parecem ter justificação face à incerteza dos valores que se podem estabelecer para os parâmetros económicos ao longo dos próximos 40 anos, pelo que geralmente se adopta o valor do diâmetro obtido directamente pela aplicação da fórmula de pré-dimensionamento.

Este procedimento pressupõe, naturalmente, o estabelecimento de uma fórmula de pré-dimensionamento adaptada tanto quanto possível às nossas condições económicas.

Apresentam-se, no item seguinte, diversas fórmulas de pré-dimensionamento, propostas por diversos autores, e que têm sido habitualmente utilizadas em Portugal e no estrangeiro. No item 2.3. apresenta-se uma fórmula cuja utilização se propõe entre nós, para as condições actuais.

2.2. FÓRMULAS DE UTILIZAÇÃO CORRENTE

A fórmula de pré-dimensionamento que, sem dúvida, se encontra mais divulgada é a de Jacques BRESSE, cujo aspecto geral é

$$D = K\sqrt{Q} \quad (D \text{ em m, } Q \text{ em m}^3/\text{s})$$

O valor de K, fixado em França nos finais do século passado (1886), e face aos preços praticados nessa época, era de 1,5.

A fórmula de Bresse apresenta a vantagem de ser facilmente adaptável a diversas correlações de preços e parâmetros económicos, através da variação de K. Assim, em diversos países em diferentes épocas, têm sido estabelecidos valores de K entre 0,7 e 1,7, tendo alguns projectistas adoptado nos últimos anos, entre nós, o valor de 1,2. No Brasil, por exemplo, adoptam-se valores para K entre 0,9 e 1,4 (1,2 em média), considerando a aplicação da fórmula de Bresse apenas para instalações em funcionamento contínuo.

Note-se que, na realidade, a fórmula de Bresse equivale à fixação de uma velocidade (que poderemos designar por velocidade económica).

De facto

$$V = Q/S = (4/\pi D^2) Q$$

ou

$$D^2 = (4/\pi V) Q$$

ou ainda

$$D = (\sqrt{4/\pi V}) \sqrt{Q}$$

Verifica-se pois que se pode estabelecer a seguinte equivalência

$$K = \sqrt{4/\pi V}$$

O quadro seguinte permite observar as velocidades económicas que correspondem aos diversos valores de K

<i>K</i>	<i>V (m/s)</i>
1,0	1,27
1,1	1,06
1,2	0,88
1,3	0,75
1,4	0,65
1,5	0,57

QUADRO I — Relação entre os valores de K e a velocidade económica

A influência de um número de horas de bombagem inferior a 24 pode ser devidamente considerada na aplicação da fórmula de BRESSE, através da escolha de um apropriado valor para K. Alguns autores estabeleceram fórmulas específicas para tais situações.

É o caso da fórmula de FORCCHIMER, que se pode escrever

$$D = 1.46 \times 0.25 \sqrt{Q}$$

sendo

$$X = \frac{\text{nº de horas de trabalho por ano}}{24 \times 360}$$

No Brasil, e para instalações sem funcionamento contínuo, é utilizada a fórmula

$$D = 1.3 \times 0.25 \sqrt{Q}$$

sendo

$$X = \frac{\text{nº de horas de bombagem por dia}}{24}$$

Note-se que, para um período de funcionamento das bombas de 16 horas, esta última fórmula equivale à de BRESSE, com $K = 1,2$.

Nos E.U.A. tem sido empregue a fórmula

$$D = 0.9 Q^{0.45}$$

que, para pequenos caudais, fornece valores próximos dos da fórmula de BRESSE com $K = 1,3$ e para médios caudais fornece valores equivalentes aos da fórmula de BRESSE com $K = 1,1$, como se pode observar no quadro seguinte:

Q (l/s)	D em mm				E.U.A.
	BRESSE				
	K = 1,1	K = 1,2	K = 1,3	K = 1,4	
1	35	38	41	44	40
2	49	54	58	63	55
5	78	85	92	99	83
10	110	120	130	140	113
20	156	170	184	198	155
50	246	268	291	313	234

QUADRO II - Diâmetro económico segundo diversas fórmulas

Refira-se também a fórmula francesa de KOCH e VIBERT (1948), aplicável a tubagens de ferro fundido, e que tem o aspecto

$$D = K (e/f)^{0.154} Q^{0.46}$$

sendo

e = custo da energia eléctrica por Kwh

f = custo do ferro fundido por Kgf

$$K = 0.99 (n/A)^{0.154}$$

A = Anuidade correspondente à taxa de juro adoptada, para um período de amortização de 50 anos;

n = Factor de utilização (número de horas de bombagem/24 h).

Mais recentemente (1961), o francês M. MUNIER propôs a fórmula simplificada seguinte, aplicável também a tubagens de ferro fundido

$$D = (1 + 0.02 n)\sqrt{Q}$$

onde

D = diâmetro (m)

n = número de horas de bombagem por dia

Q = caudal em m³/s

Note-se que, para 16 horas de bombagem, esta fórmula conduz à de BRESSE, com K = 1,32.

Outras fórmulas de aplicação prática mais reduzida podem ser encontradas na literatura especializada, como sejam as de MAURY, etc..

2.3. FÓRMULA PROPOSTA

Atendendo aos valores dos parâmetros económicos actualmente observados em Portugal, à evolução que, tanto quanto possível, se prevê para estes parâmetros, e aos preços actualmente praticados entre nós para os componentes do sistema elevatório, a utilização de uma fórmula do tipo americano com $K = 1,1$ parece ser aconselhável.

Note-se, contudo, que o horizonte do projecto que em geral se considera para o equipamento electromecânico é metade do considerado para as restantes obras de construção civil, pelo que ao longo do horizonte habitual do abastecimento de 40 anos, haverá que considerar a instalação de dois sistemas de elevação.

Dado que o primeiro sistema de elevação instalado apenas cobrirá a primeira metade da vida prevista para a obra, não há necessidade de este sistema fornecer o caudal máximo calculado para o final do horizonte da obra. Assim, e dum modo geral, o caudal elevado apresenta um valor no período 0-20 anos e um valor superior no período 20-40 anos.

O valor de K atrás indicado foi estabelecido em função do caudal no ano 20, pelo que a fórmula proposta para o pré-dimensionamento económico se poderá escrever

$$D = 1,1 Q_{20}^{0,45}$$

sendo

D - Diâmetro, expresso em metros;

Q_{20} - Caudal de cálculo do sistema elevatório para o período 0-20, expresso em m^3/s

Se o diâmetro obtido através desta fórmula for inferior ao mínimo, deverá naturalmente tomar-se este último.

Para o diâmetro obtido pela fórmula deverá ainda verificar-se a velocidade máxima face aos caudais calculados para o ano 40.

3. ANÁLISE DE CUSTOS. BREVES CONSIDERAÇÕES

3.1. ANÁLISES DE CUSTOS EM OBRAS DE SANEAMENTO BÁSICO

Em geral, os componentes económicos considerados em qualquer análise de custos são o investimento inicial, a taxa de juro, os encargos de exploração e conservação e a amortização. Este último componente (que se pode definir como a despesa a realizar todos os anos, a fim de acumular uma quantia suficiente para poder reconstituir as estruturas e os equipamentos no final do horizonte estabelecido), não é em geral considerado nos estudos económicos que, entre nós, se fazem para obras de saneamento básico. Este critério, embora discutível, será todavia mantido na análise constante do capítulo 4.

Em geral as comparações de custos podem ser realizadas por dois processos, ou seja, por actualização em relação ao ano 0 de todos os custos, ou por comparação de encargos anuais, traduzindo-se neste caso todos os custos de investimento e exploração em anuidades.

As características especiais das obras de saneamento básico, aconselham todavia a que se siga o 1º processo. Na verdade, e ao contrário do que de um modo geral sucede em indústrias, ou mesmo em certas obras hidráulicas, onde o valor da «produção» é de valor anual aproximadamente constante, estabelecido «a priori», nas obras de saneamento básico existe um aumento anual do serviço prestado, resultante do aumento progressivo de populações e capitações, pelo que os encargos de exploração são variáveis de ano para ano.

No caso particular da análise de custos de condutas elevatórias, aquela observação traduz-se no facto de o número de horas de funcionamento das bombas será variável ao longo do horizonte da obra, face ao aumento dos caudais consumidos e ao valor constante do caudal fornecido pela bomba. Dado que, em princípio, se vão utilizar dois grupos elevatórios ao longo da vida da obra, como atrás se refere, o número máximo estabelecido para horas de bombagem será atingido duas vezes, isto é, no ano 20 e no ano 40.

A consideração, para efeitos de simplificação do cálculo, de um número de horas médio de funcionamento da bomba não é aconselhável salvo para pequenas instalações, uma vez que, pode conduzir a distorções dos resultados, a favor das soluções de maiores custos iniciais. Esta conclusão pode facilmente retirar-se da análise do estudo desenvolvido no capítulo 4.

Nas situações em que se verifique uma sensível inflação, ela deverá ser tomada em atenção nas análises de custos, pois a consideração unicamente da taxa de juro praticada, ou mesmo do diferencial entre as duas taxas (actualização menos inflação) para efeitos da actualização dos encargos de exploração, beneficia sensivelmente as soluções de maiores consumos energéticos. Este aspecto será analisado nos capítulos seguintes.

3.2. O PROBLEMA DA INFLAÇÃO

Numa situação inflacionária, os preços correntes não são apropriados para a realização de análises económicas, na medida em que aumentam com o tempo. De uma forma mais simplista, pode afirmar-se que o dinheiro vai perdendo valor com o decorrer dos anos, não podendo portanto servir de referência constante para a análise de custos de actividades que se desenvolvem ao longo dos anos.

Há portanto necessidade de referir os custos a valores constantes, que poderão ser os preços de um ano base, introduzindo assim no cálculo, para além das normais taxas de actualização, as chamadas taxas de inflação.

Note-se que a diferença entre estas duas taxas (taxa de actualização menos taxa de inflação) é, em períodos normais, próxima dos 5%.

Na prática, o problema apresenta-se ainda mais complicado, na medida em que há uma tendência para que o aumento anual do preço da energia seja, em Portugal, superior à inflação nos próximos anos.

3.3. PARÂMETROS ECONÓMICOS

Referem-se seguidamente os principais parâmetros económicos que intervêm numa análise de custos.

- *Taxa de juro*

A taxa de juro é o prémio, expresso em percentagem, que recai ao fim de um ano sobre um dado capital posto à disposição.

Considere-se, numa primeira análise, a inexistência de inflação.

Sendo j a taxa de juro e P a quantia em dinheiro posta à disposição, ao fim de um ano o juro será:

$$j.P$$

Caso o juro não seja levantado, o capital que constinuará a render juros será portanto

$$P + jP = P (1 + j)$$

Ao fim do segundo ano, este capital renderá novamente juros, cujo valor será então:

$$j[P (1 + j)] = jP (1 + j)$$

O capital total que ao fim desse segundo ano existirá será de:

$$P (1 + j) + jP (1 + j)$$

ou seja

$$P (1 + j)^2$$

Facilmente se pode deduzir que, ao fim de n anos, a soma em dinheiro que o investidor obtém (F) será de

$$F = P (1 + j)^n$$

fórmula esta conhecida pela designação de «juros compostos».

Inversamente, pode afirmar-se que, a um capital F , existente daqui a n anos, corresponde à taxa de juro j um valor actual de

$$P = \frac{F}{(1 + j)^n}$$

- *Actualização*

De acordo com a análise do parágrafo anterior, pode concluir-se que, para efeitos de análise de custos, a qualquer gasto (G) no ano n corresponderá um valor actual (V) de

$$V = \frac{G}{(1 + j)^n}$$

- *Inflação*

Considere-se um dado gasto de exploração e conservação, de valor constante ao longo do horizonte da obra, e considere-se a existência de uma conjuntura inflacionária, com uma taxa constante i .

Seja G esse gasto, traduzido no dinheiro que é necessário dispendir no ano inicial da obra.

No ano n , e atendendo à inflação, o gasto a realizar será então de

$$H = G (1 + i)^n$$

Considere-se, por outro lado, que a taxa de juro j tem em conta a inflação, e seja r a taxa de juro «real», sem inflação. Neste caso o dinheiro recebido ao fim de n anos (F) em relação a um capital inicial P será

$$F = P (1 + i)^n (1 + r)^n = P (1 + j)^n$$

donde se pode concluir que

$$j = i + r + ir$$

Verifica-se portanto que a taxa de juro sem inflação (r) não é igual ao diferencial entre a taxa de juro com inflação e a taxa de inflação, mas apresenta um valor ligeiramente inferior, dado por

$$r = \frac{(j - i)}{(1 + i)}$$

- *Actualização, atendendo à inflação*

A actualização de um gasto por recurso à taxa de juro em processo inflacionário (j) deve ser feita tendo em atenção os valores inflacionados ao longo dos anos daqueles gastos.

Assim, sendo os encargos de exploração e conservação no ano n iguais a H (como atrás se determina) o seu valor actualizado será:

$$V = \frac{H}{(1 + j)^n}$$

Esta equação pode ser escrita da seguinte forma

$$V = \frac{G (1 + i)^n}{(1 + r)^n (1 + i)^n} = \frac{G}{(1 + r)^n}$$

donde se pode concluir que a actualização pode ser feita atribuindo ao gasto um custo sempre constante e igual ao inicial, desde que se utilize para taxa de actualização a taxa «real» r , ligeiramente inferior ao diferencial entre as taxas j e i , como se sabe.

- *Valor actual de anuidades constantes a juros compostos*

Considere-se uma anuidade constante de valor G . Para uma taxa de actualização de valor j , o valor actualizado das sucessivas anuidades, para um número de anos n , será

$$P = G (1 + j)^{-1} + G (1 + j)^{-2} + \dots + G (1 + j)^{-n}$$

Demonstra-se que este somatório tem o valor

$$P = \frac{G[(1 + j)^n - 1]}{j (1 + j)^n}$$

Considere-se, por exemplo, uma anuidade G durante 5 anos, à taxa de 5%. O valor actualizado corresponde a todas estas anuidades será de acordo com a fórmula anterior:

$$P = 4.33 G$$

Por vezes, para pequenos períodos e baixas taxas de actualização, considera-se o factor de actualização correspondente ao ano médio, multiplicado pelo número de anos, procedimento que simplifica o cálculo em certas situações, e fornece resultados aproximados. No caso do exemplo anterior seria

$$P = 5.G (1 + j)^{-3} = 4,32 G$$

Este último processo foi o adoptado para o exemplo do capítulo seguinte.

4. DIMENSIONAMENTO ECONÓMICO. EXEMPLO

O presente exemplo refere-se ao dimensionamento económico de uma conduta elevatória, destinada ao sistema de abastecimento de um grupo de 6 povoações do litoral beirão.

Estabeleceu-se um horizonte de projecto de 40 anos para as obras de construção civil, e um horizonte de metade (20 anos) para os equipamentos electromecânicos. O presente estudo foi elaborado em 1980, tendo-se admitido o início do funcionamento do sistema no ano de 1981.

As populações totais de projecto eram

$$\cdot P_{1981} = 4433 \text{ hab.}$$

$$\cdot P_{2001} = 5200 \text{ hab.}$$

$$\cdot P_{2021} = 6114 \text{ hab.}$$

e as capitações adoptadas foram as seguintes

$$\cdot C_{1981} = 80 \text{ l/hab/dia}$$

$$\cdot C_{2001} = 100 \text{ l/hab/dia}$$

$$\cdot C_{2021} = 120 \text{ l/hab/dia}$$

Os caudais médios diários anuais obtidos foram então de

- . $Q_{1981} = 354.640 \text{ l/dia} = 4,10 \text{ l/s}$
- . $Q_{2001} = 520.000 \text{ l/dia} = 5,99 \text{ l/s}$
- . $Q_{2021} = 733.680 \text{ l/dia} = 8,49 \text{ l/s}$

A elevação é feita a partir de um furo, admitindo-se a utilização de ferro galvanizado no troço entre a bomba submersível e a caseta (estação elevatória) e a utilização de PVC no restante desenvolvimento da elevatória, entre a caseta e o reservatório principal.

Admitiu-se ainda um período médio diário máximo de funcionamento das bombas de 16 horas.

— CÁLCULOS HIDRÁULICOS

- *caudal de elevação em 16 horas (2021)*

1,3 × 8,49 × 24/16	16,56 l/s
perdas (10%)	1,66 l/s
TOTAL	18,22 l/s

- *caudal de elevação em 16 horas (2001)*

1,3 × 5,99 × 24/16	11,68 l/s
perdas (10%)	1,17 l/s
TOTAL	12,85 l/s

- *diâmetro económico (pré-dimensionamento)*

$$D_i = 1,1 Q_{20}^{0,45} = 1,1 \times 0,01285^{0,45} = 0,155 \text{ m}$$

- *diâmetro mínimo admissível* (critério da velocidade máxima)

$$S = \frac{0,01822}{1,5} = 0,012 \text{ m}^2$$

$$D_{i \text{ nt}} = 0,124 \text{ m}$$

A análise de custos foi desenvolvida para os diâmetros nominais de 140 mm, 160 mm e 200 mm (PVC, classe 10 Kgf/cm²).

Não se considerou neste estudo a possibilidade de utilização da tubagem de 250 mm, por conduzir a velocidades de escoamento muito baixas, nem a utilização de tubagem de 125 mm por conduzir a um diâmetro interno inferior ao mínimo admissível.

— *perdas de carga*

- *troço grupo - caseta* (diâmetro mínimo admitido = 3")

- em 2021

$$\begin{aligned} Q &= 18,22 \text{ l/s} \\ i &= 200 \text{ m/Km} \\ H &= 4 \text{ m} \end{aligned}$$

- em 2001

$$\begin{aligned} Q &= 12,85 \text{ l/s} \\ i &= 100 \text{ m/Km} \\ H &= 2 \text{ m} \end{aligned}$$

- *troço caseta - reservatório*

$$L_{rca} = 17,5 \text{ m}$$

perdas localizadas = 15% em comprimento equivalente

$$L_{cal.} = 1,15 \times 17,5 \cong 20 \text{ m}$$

- em 2021

$$Q = 18.22 \text{ l/s}$$

PVC Ø 140

$$i = 13 \text{ m/Km}$$

$$H = 16.9 = 17.0 \text{ m}$$

PVC Ø 160

$$i = 6 \text{ m/Km}$$

$$H = 7.8 \text{ m} = 8.0 \text{ m}$$

PVC Ø 200

$$i = 2 \text{ m/Km}$$

$$H = 2.6 \text{ m} = 3.0 \text{ m}$$

- em 2001

$$Q = 12.85 \text{ l/s}$$

PVC Ø 140

$$i = 6 \text{ m/Km}$$

$$H = 7.8 \text{ m} = 8.0 \text{ m}$$

PVC Ø 160

$$i = 3 \text{ m/Km}$$

$$H = 3.9 \text{ m} = 4.0 \text{ m}$$

PVC Ø 200

$$i = 1 \text{ m/Km}$$

$$H = 1.3 \text{ m} = 1.5 \text{ m}$$

• *perdas de carga totais (resumo)*

• em 2021

PVC Ø 140	H = 21 m
PVC Ø 160	H = 12 m
PVC Ø 200	H = 7 m

• em 2001

PVC Ø 140	H = 10 m
PVC Ø 160	H = 6 m
PVC Ø 200	H = 3.5 m

— *altura geométrica total*

profundidade máxima no furo	17.5 m
desnível topográfico entre a captação e o reservatório	38.5 m
altura de água no reservatório	4.0 m
TOTAL	60.0 m

— *alturas manométricas totais*

• em 2021

PVC Ø 140	H = 81 m
PVC Ø 160	H = 72 m
PVC Ø 200	H = 67 m

• em 2001

PVC Ø 140	H = 70 m
PVC Ø 160	H = 66 m
PVC Ø 200	H = 63.5 m

— *rendimento adoptado para os grupos*

$$n = 0.7$$

— potências de cálculo, potências mínimas a instalar e potências comerciais

• em 2021

PVC Ø 140

$$P_{\text{cal.}} = 28.1 \text{ CV} \quad P_{\text{min}} (+ 10\%) = 30.9 \text{ CV (30 CV)}$$

PVC Ø 160

$$P_{\text{cal.}} = 25.0 \text{ CV} \quad P_{\text{min}} (+ 10\%) = 27.5 \text{ CV (30 CV)}$$

PVC Ø 200

$$P_{\text{cal.}} = 23.3 \text{ CV} \quad P_{\text{min}} (+ 10\%) = 25.6 \text{ CV (30 CV)}$$

• em 2001

PVC Ø 140

$$P_{\text{cal.}} = 17.1 \text{ CV} \quad P_{\text{min}} (+ 15\%) = 19.7 \text{ CV (20 CV)}$$

PVC Ø 140

$$P_{\text{cal.}} = 16.2 \text{ CV} \quad P_{\text{min}} (+ 15\%) = 18.6 \text{ CV (20 CV)}$$

PVC Ø 140

$$P_{\text{cal.}} = 15.5 \text{ CV} \quad P_{\text{min}} (+ 15\%) = 17.8 \text{ CV (20 CV)}$$

— ANÁLISE DE CUSTOS

Em quadros anexos apresenta-se o desenvolvimento da análise de custos para a presente adução.

Considerou-se que um estudo por períodos de 4 anos fornece uma precisão suficiente.

Tomou-se para custo do Kwh em 1980 o valor de 2\$83, e considerou-se que os restantes custos de exploração e conservação seriam aproximadamente iguais para qualquer dos possíveis diâmetros a instalar.

Admitiu-se uma taxa de inflação de $i = 15\%$, uma taxa de actualização de $j = 20\%$ e um aumento anual do custo da energia da ordem de $a = 16\%$.

No facto de se considerarem estas taxas constantes poderá residir a principal deficiência da presente análise de custos. A consideração de taxas variáveis ao longo do horizonte da obra, que também poderia ser feita, não se julgou todavia de interesse para o presente exemplo, na medida em que o iria complicar excessivamente do ponto de vista matemático, retirando-lhe facilidade de interpretação nos aspectos hidráulicos e económicos.

PERÍODO	P - POPULAÇÕES (Valores médios)	C - CAPITAÇÕES (Valores médios)	Q - CAUDAL DE ADUÇÃO (1)	HORAS DE FUNC. DIÁRIO (2) (Valores médios)	h - HORAS TOTAIS DE FUNC. P/ANO
—	hab.	1/hab/dia	l/s	h/dia	h/ano
1981/1985	4503	82	6,11	11,42	4168
1985/1989	4648	86	6,62	12,36	4511
1989/1993	4798	90	7,15	13,35	4873
1993/1997	4956	94	7,71	14,40	5256
1997/2001	5117	98	8,30	15,50	5658
2001/2005	5284	102	8,92	11,76	4292
2005/2009	5458	106	9,58	12,61	4603
2009/2013	5637	110	10,26	13,52	4935
2013/2017	5823	114	10,99	14,48	5285
2017/2021	6016	118	11,75	15,48	5650

$$(1) - Q = 1,3 \times \frac{C \times P}{24 \times 3600} + 10\%$$

$$(2) - \frac{Q \times 24}{12,85} \text{ (anos 0 a 20)} \quad e \quad \frac{Q \times 24}{18,22} \text{ (anos 0 a 20)}$$

PERÍODO	CONSUMO ANUAL (3)			CUSTO Kwh (Valor médio)	CUSTO ANUAL DA ENERGIA		
	Q' 140	Q' 160	Q' 200		Q' 140	Q' 160	Q' 200
	100 Kwh	100 Kwh	100 Kwh		1000 Esc.	1000 Esc.	1000 Esc.
—				Esc./Kwh			
1981/1985	525	497	460	4\$42	232	220	203
1985/1989	568	538	498	8\$00	454	430	398
1989/1993	613	581	538	14\$48	888	841	779
1993/1997	662	627	580	26\$22	1.736	1.644	1.520
1997/2001	712	675	625	47\$48	3.381	3.205	2.968
2001/2005	888	790	736	85\$97	7.634	6.792	6.327
2005/2009	952	847	789	155\$65	14.818	13.184	12.281
2009/2013	1021	908	846	281\$82	28.774	25.589	23.842
2013/2017	1093	972	906	510\$28	55.774	49.599	46.231
2017/2021	1169	1040	969	923\$93	108.007	96.089	89.529

(3) - $P_{e,ai} \times h \times 0,736$

(4) - $2\$83 \times (1+a)^n$; $n = [(\text{ano médio do período}) - 1980]$; $a = 16\%$

PERÍODO	CUSTO DE ENERGIA NO PERÍODO			FACTOR DE ATUALIZAÇÃO (5)	CUSTO ATUALIZADO		
	Q 140	Q 160	Q 200		Q 140	Q 160	Q 200
—	1000 Esc.	1000 Esc.	1000 Esc.	—	1000 Esc.	1000 Esc.	1000 Esc.
1981/1985	928	880	812	0.578704	537,6	509,3	469,9
1985/1989	1.816	1.720	1.592	0.279082	506,8	480,0	444,3
1989/1993	3.552	3.364	3.116	0.134588	478,1	452,8	419,4
1993/1997	6.944	6.576	6.080	0.064905	450,7	426,8	394,6
1997/2001	13.524	12.820	11.872	0.031301	423,3	401,3	371,6
2001/2005	30.536	27.168	25.308	0.015095	460,9	410,1	382,0
2005/2009	59.272	52.736	49.124	0.007280	431,5	383,9	357,6
2009/2013	115.096	102.356	95.368	0.003511	404,1	359,4	334,8
2013/2017	223.096	198.396	184.924	0.001693	377,7	335,9	313,1
2017/2021	432.028	384.356	358.116	0.000816	352,5	313,6	292,2
				TOTAL	4422,6	4073,1	3779,5

(5) - (1 + j)ⁿ

• *Encargos energéticos. Resumo* (diferença em relação ao total mais baixo)

PVC Ø 140	643,1 C.
PVC Ø 160	293,6 C.
PVC Ø 200	—

• *Custo das tubagens instaladas*

Para atender ao transporte, montagem, lucros e acessórios, o preço do custo foi multiplicado pelos seguintes factores:

PVC Ø 140 e PVC Ø 160	1.8
PVC Ø 200	1.75

Assim, obtiveram-se os seguintes custos por metro (com I.T.)

PVC Ø 140 cl. 10 Kgf/cm ² —	$1,8 \times 550\$00 = 990\$00/m$
PVC Ø 160 cl. 10 Kgf/cm ² —	$1,8 \times 620\$00 = 1.120\$00/m$
PVC Ø 200 cl. 10 Kgf/cm ² —	$1,75 \times 880\$00 = 1.540\$00/m$

Donde se obtiveram os seguintes custos totais (L = 1240 m)

PVC Ø 140 cl. 10 Kgf/cm ² —	$1240 \times 990\$00 = 1.227,6 C.$
PVC Ø 160 cl. 10 Kgf/cm ² —	$1240 \times 1.120\$00 = 1.388,8 C.$
PVC Ø 200 cl. 10 Kgf/cm ² —	$1240 \times 1.540\$00 = 1.909,6 C.$

As diferenças em relação ao preço mais baixo são então

PVC Ø 140 cl. 10 Kgf/cm ²	—
PVC Ø 160 cl. 10 Kgf/cm ²	161,2 C.
PVC Ø 200 cl. 10 Kgf/cm ²	682,0 C.

• *Custo da vala*

Admitindo-se para o terreno uma percentagem de 50% de terra compacta, 25% de rocha branda e 25% de rocha dura, de acordo com a análise local, obtém-se para custo de uma vala de largura unitária e profundidade 1,20 m (incluindo escavação, aterro, transporte a vazadouro e leito de assentamento) o valor de

1.200\$00/m

Considerando as seguintes larguras para as valas:

PVC Ø 140 e PVC Ø 160 0,65 m
 PVC Ø 200 0,70 m

virá para custos totais das valas

PVC Ø 140 -- $0,65 \times 1.200\$00 \times 1.240,00 = 967,2 \text{ C.}$
 PVC Ø 160 -- $0,65 \times 1.200\$00 \times 1.240,00 = 967,2 \text{ C.}$
 PVC Ø 200 -- $0,70 \times 1.200\$00 \times 1.240,00 = 1.041,6 \text{ C.}$

As diferenças em relação ao preço mais baixo serão

PVC Ø 140 —
 PVC Ø 160 —
 PVC Ø 200 74,4 C.

• *Custo das bombas*

Dado que as bombas a instalar no ano 0 e no ano 20 terão as mesmas potências comerciais para qualquer dos possíveis diâmetros a instalar, conforme se determinou nos cálculos hidráulicos, não há necessidade de considerar os seus custos no presente estudo.

Se essas potências comerciais fossem diferentes de diâmetro para diâmetro, o procedimento a adoptar seria o seguinte:

— Bombas para o ano 0

O seu custo, afectado de um coeficiente para montagem, lucros e transporte, seria considerado integralmente.

— Bombas para o ano 20

O seu custo actual, afectado do coeficiente atrás referido, seria considerado após as correcções devidas à inflação e à actualização, isto é, sendo A o seu preço de aplicação actual, o valor a considerar no cálculo seria

$$D = A \frac{(1 + i)^{20}}{(1 + j)^{20}}$$

- *Dispositivo de protecção contra o choque hidráulico*

No caso prático a que se reporta o presente exemplo, verificou-se que não haveria necessidade de considerar qualquer protecção especial contra o choque hidráulico, razão porque não se considerou esta parcela nos custos.

Em certos casos, porém, a protecção ao choque hidráulico poderá requerer, para os diferentes diâmetros comparados, a utilização de dispositivos de custos sensivelmente diferentes.

- *Resumo*

Face aos valores atrás determinados, poderá então determinar-se o diâmetro mais económico. No quadro seguinte apresentam-se os valores obtidos (diferenças em relação aos preços mais baixos) em milhares de escudos.

	Ø 140	Ø 160	Ø 200
Energia	643,1	293,6	—
Tubagem	—	161,2	682,0
Valas	—	—	74,4
Bombas	—	—	—
Protec. ao Choque Hid.	—	—	—
TOTAIS	643,1	454,8	756,4

Pode concluir-se que, em princípio, o diâmetro económico será o Ø 160 mm.

De notar que a aplicação da fórmula de pré-dimensionamento proposta indicava um diâmetro económico (diâmetro interno) de 155 mm.

Finalmente, refira-se que a aplicação do cálculo automático poderá simplificar, de forma sensível as análises de custos do tipo apresentado, o mesmo se podendo afirmar em relação à consulta de tabelas sobre anuidades e coeficientes de actualização que, de modo geral, se podem encontrar na literatura especializada sobre análises económicas.

BIBLIOGRAFIA

AFONSO, A.S. — *Conservação de Energia em Sistemas de Saneamento Básico*, Comunicação 7, Tema 8, Congresso 81 da Ordem dos Engenheiros, Lisboa, 1981.

AROCHA, S. — *Abastecimento de Água*, Edicions Vega, Caracas, Venezuela, 1978.

CARLIER, M. — *Hydraulique Générale et Appliquée*, Eyrolles, Paris, 1972.

NETTO, J.M. — *Manual de Hidráulica*, Editora Edgar Blucher, Lda, São Paulo, Brasil, 1977.

NEVES, E.T. — *Curso de Hidráulica*, Editora Globo, Porto Alegre, Brasil, 1974.

PURSCHER — *Tratado General del Agua y su Distribucion*, Tomo 4, URMO, S.A., Bilbao, Espanha, 1978.

STEEL, E. — *Water Supply and Sewerage*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo, Japão, 1960.

SUMMARY

The economical and hydraulic criteria to observe in the determination of optimum piping main diameters are indicated.

Formulas of pre-sizing from several authors are referred, and a formula adapted to the prices and conditions existing nowadays in Portugal are proposed and presented.

An example of cost analysis, considered in an inflationary situation, is developed, comparing the total costs that correspond to several commercial diameters.

ERRATA

Página	Linha	onde se lê	deve ler-se
10	penúltima	dimensionamento	-dimensionamento
12	18ª	\sqrt{Q}	\sqrt{Q}
16	22ª	D - Diâmetro,	D - Diâmetro interno,
24	11ª	<ul style="list-style-type: none"> • <i>troço grupo - caseta</i> (diâmetro mínimo admitido = 3") • em 2021 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>troço grupo - caseta</i> (diâmetro mínimo admitido = 3") Lreal = 17,5m perdas localizadas = 15% em comprimento equivalente Lcal = 1,15 x 17,5m ≈ 20m • em 2021
25	2ª	Lreal = 17,5m	Lreal = 1240m
25	3ª	perdas localizadas = 15%	perdas localizadas = 5%
25	4ª	Lcal = 1,15 x 17,5m ≈ 20m	Lcal = 1,05 x 1240 ≈ 1300m
28	última	l _{he}	-l _{he}
29	nota 2 do Quadro	$\frac{Q \times 24}{18,22}$ (anos 0 a 20)	$\frac{Q \times 24}{18,22}$ (anos 20 a 40)
30	4ª coluna do quadro	CUSTO kwh (Valor médio)	CUSTO kwh (Valor médio) (4)
30	nota 4 do Quadro	...(ano medio do...	...(ano médio do...
31	nota 5 do Quadro	$(5) - (1 + j)^n$	$(5) - (1 + j)^{-n}$

Impresso na Secção de Offset
da Comissão de Coordenação da Região Centro

Concluído em Abril de 1992

Tiragem: 800 exemplares