U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

MODELAÇÃO HIDRÁULICA DA EXPLORAÇÃO DE UM SISTEMA ELEVATÓRIO DE ÁGUAS RESIDUAIS

MARISA CLÁUDIA MIRANDA FERNANDES

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor José Carlos Tentúgal Valente

FEVEREIRO DE 2008

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o Professor Doutor Tentúgal Valente, pelo apoio e encorajamento prestados em todas as fases de execução deste trabalho, por todos os conhecimentos que me transmitiu e pela empatia evidenciada.

À Águas do Minho e Lima, S.A., nas pessoas do Eng.º Pedro Bastos e do Eng.º Ulisses Biscaia, que disponibilizaram o seu tempo e a sua atenção para me esclarecer dúvidas e fornecer dados importantes para o progresso do meu projecto.

Aos meus colegas, em especial ao Bruno Silva, ao Rodrigo Quintela, ao Miguel Saraiva e ao Nelson Romano, pelo companheirismo, pela amizade e pelas horas de discussão que ajudaram, de diferentes formas, a melhorar este trabalho.

Aos meus queridos Afilhados, pelo apoio que me deram e dão e acima de tudo pela sua amizade.

E, finalmente, à minha Família, em especial ao meu irmão Marco pela paciência carinhosa com que sempre me ouviu e atendeu e pelas preciosas ajudas que me prestou, mesmo sem a minha solicitação.

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objectivo de criar um Programa de cálculo que constitua uma ferramenta para auxiliar o desenvolvimento do projecto e da operação de gestão de sistemas elevatórios de águas residuais com recurso à utilização de bombas centrífugas do tipo submersível. Elaborou-se um algoritmo que define a lei de exploração destes sistemas, tendo em conta uma série de variáveis e de forma a alargar as possibilidades de simulação, com o objectivo de se obter um melhor desempenho técnico, económico e ambiental, recorrendo ao Microsoft® Office Excel e ao Microsoft® Visual Basic for Applications.

Este relatório traduz a sequência de concepção e desenvolvimento deste trabalho.

Assim, e para além do Capítulo 1 de introdução ao tema e ao trabalho, no Capítulo 2 faz-se o enquadramento do tema estudado. Explica-se onde e porque se incluem sistemas elevatórios de águas residuais no Ciclo de Utilização da Água, quais os sistemas usualmente utilizados, expondo as suas vantagens e desvantagens e, por fim, pormenoriza-se a caracterização dos sistemas com bombas centrífugas, referindo algumas medidas a seguir para a concepção de um sistema mais eficiente.

O Capítulo 3 destina-se à explicação do processo de dimensionamento hidráulico sanitário de sistemas elevatórios com bombas centrífugas.

O Capítulo 4 expõe o modo de funcionamento do algoritmo criado para a avaliação do funcionamento dos sistemas supracitados. Começa por explicar as cinco partes fundamentais em que se divide o Programa e depois explora, mais pormenorizadamente, cada uma delas. Relativamente à última parte, a Análise de Desempenho à custa da definição e consideração de Indicadores de Desempenho, é feita uma referência especial e mais abrangente ao estado da arte do tema e só depois se especificam quais os indicadores adoptados para o caso das estações elevatórias de águas residuais e os respectivos critérios de avaliação.

No Capítulo 5 explica-se como se experimentou o Programa com dados referentes a uma estação elevatória em funcionamento e exploração e realiza-se a análise crítica dos resultados obtidos.

Por fim, o Capítulo 6 reúne as conclusões que foram possíveis retirar no decurso do trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: águas residuais, esgotos, estações elevatórias, bombas centrífugas, indicadores de desempenho

ABSTRACT

This essay was carried out with the purpose of creating a Program that acts as a calculation tool to help the development of wastewater pumping systems with submersible centrifugal pumps' project and management operations. An algorithm was developed to define the law of operation of these systems and in order to widen the simulation possibilities, taking into account a number of variables, seeking for the best technical, economical and environmental performance, using Microsoft® Office Excel and Microsoft® Visual Basic for Applications.

This report registers the sequence of operations that led to the conception and development of this work.

Thus, after an introduction to the theme and work on Chapter 1, Chapter 2 describes the context of the current subject. Here, it is explained where and why wastewater pumping systems are included on the Water Use Cycle, which systems are generally used, revealing its advantages and disadvantages, and, finally, a more detailed characterization of the centrifugal pumps' systems is made, mentioning some of the measures one should take in order to achieve a more efficient system.

Chapter 3 explains the hydraulic and sanitary design process of wastewater pumping systems using centrifugal pumps.

Chapter 4 shows how the created algorithm works for the design and evaluation of the above mentioned systems. It starts by explaining the five fundamental parts in which the Program is divided and then it examines more thoroughly each of them. As for the last part, the Performance Analysis based on the definition and consideration of Performance Indicators, a special and broader reference is made on the state of the art of this subject and only afterwards the indicators for wastewater pumping systems and their assessment criteria are indicated.

Chapter 5 presents how the Program was experimented with data from an operating pumping station and a critical assessment of the obtained results is done.

Finally, Chapter 6 compiles the many conclusions drawn by this essay.

KEYWORDS: wastewater, sewer, pumping stations, centrifugal pumps, performance indicators

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i
RESUMO iii
ABSTRACT v

1. INTRODUÇÃO 1

2. ENQUADRAMENTO 3
2.1. CICLO DE UTILIZAÇÃO DA ÁGUA 3
2.2. SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA 4
2.3. SISTEMAS ELEVATÓRIAS DE ÁGUAS RESIDUAIS 6
2.3.1. EJECTORES PNEUMÁTICOS 6
2.3.2. PARAFUSOS DE ARQUIMEDES 8
2.3.3. BOMBAS CENTRÍFUGAS 9
2.3.3.1. Constituição de um Sistema Elevatório com Bombas Centrífugas 10
2.3.3.2. Recomendações Gerais para a Concepção de um Sistema Elevatório Eficiente 12
2.4. SITUAÇÃO ACTUAL – PROBLEMAS A RESOLVER 17
2.5. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO 18

3. SISTEMAS ELEVATÓRIOS DE ÁGUAS RESIDUAIS COM BOMBAS CENTRÍFUGAS 21
3.1. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO 21
3.1.1. CONDUTA ELEVATÓRIA 21
3.1.1.1. Diâmetro mínimo regulamentar 21
3.1.1.2. Velocidades máximas e mínimas 22
3.1.1.3. Inclinações regulamentares 22
3.1.2. CAUDAL AFLUENTE 22
3.1.2.1. Caudais de Águas Residuais Domésticas 22
3.1.2.2. Caudais de Águas Residuais Industriais 23
3.1.2.3. Caudais de Águas Pluviais 23
3.1.2.4. Caudais de Infiltração 24
3.1.3. CAUDAL BOMBADO 24

3.1.4. ALTURA MANOMÉTRICA 24
3.1.4.1. Perdas de Carga 25
3.1.4.2. Choque Hidráulico 27
3.1.5. CÂMARA DE ASPIRAÇÃO 29
3.1.5.1. Regulação de níveis 30
3.1.5.2. NPSH 31
3.2. CONTROLO DA SEPTICIDADE 31

4. CONCEPÇÃO DO ALGORITMO 33
4.1. ARQUITECTURA DO PROGRAMA 33
4.1.1. INTRODUÇÃO 33
4.1.1.1. Requisitos para o Bom Funcionamento do Programa 33
4.1.1.2. Relatório de Cálculo 35
4.1.2. BASE DE DADOS 35
4.1.3. CONDUTA ELEVATÓRIA 35
4.1.4. CÂMARA DE ASPIRAÇÃO 36
4.1.5. ANÁLISE DE DESEMPENHO 36
4.2. VARIÁVEIS DO PROGRAMA 36
4.2.1. CAUDAIS 36
4.2.1.1. Caudal Afluente 36
4.2.1.2. Caudal Bombado 37
4.2.2. CONDUTA ELEVATÓRIA 38
4.2.2.1. Diâmetro 38
4.2.2.2. Velocidade de escoamento 39
4.2.2.3. Características do Material 40
4.2.3. CARACTERÍSTICAS DO TERRENO, DA INSTALAÇÃO E DO ESGOTO 40
4.2.3.1. Valores restaurados por defeito 41
4.2.3.2. Perdas de carga localizadas 41
4.2.3.3. Coeficiente de ancoragem da conduta 41
4.2.3.4. Impressão de Diagramas 42
4.2.4. CÂMARA DE ASPIRAÇÃO 42
4.2.4.1. Volume 42
4.2.4.2. Dimensão e Forma 44

4.2.4.3. Soluções que não cumprem todas as verificações 46
4.3. ANÁLISE DE DESEMPENHO 46
4.3.1. ESTADO DA ARTE 47
4.3.1.1. Indicadores de Desempenho propostos pela IWA 49
4.3.1.2. Indicadores de Desempenho propostos pela GRI 49
4.3.2. INDICADORES 49
4.3.2.1. Energia Eléctrica 52
4.3.2.2. Volume na Câmara de Aspiração 52
4.3.2.3. Número de Arranques da Bomba por hora 55
4.3.2.4. Tempo de Retenção do Esgoto 55
4.3.2.5. Velocidade de Escoamento na Conduta Elevatória 56

5. APLICAÇÃO A UM CASO CONCRETO 57
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE AFIFE 57
5.1.1. CONDUTA ELEVATÓRIA 58
5.1.2. OBRA DE ENTRADA 58
5.1.3. GRUPOS ELEVATÓRIOS 59
5.1.4. CÂMARA DE ASPIRAÇÃO 61
5.2. REGISTOS DE CAUDAIS AFLUENTES 62
5.3. EXPERIMENTAÇÃO DO PROGRAMA 62
5.4. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS 63

6. CONCLUSÕES 65

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 67

ANEXOS 69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ciclo Hidrológico, adapt. (Consorcio de Aguas de Asturias, 2007).....3

Figura 2.2 – Captação de água para consumo (adapt. Consorcio de Aguas de Asturias, 2007) 4

Figura 2.3 – Processo de rejeição ou devolução da água utilizada ao meio natural, (adapt. Consorcio de Aguas de Asturias, 2007).....5

Figura 2.4: Ejector Pneumático Shone (Yeomans Pump, 2002) 6

Figura 2.5 – Ejector Pneumático de Grandes Dimensões (notar o operador) (Yeomans Pump, 2007) 7

Figura 2.6 – Esquema do Funcionamento de um Ejector Shone adapt. (Yeomans Pump, 2002): a) Fase de Enchimento; b) Ejector Cheio; c) Fase de Descarga.....7

Figura 2.7 – Funcionamento do Parafuso de Arquimedes (Dorling Kindersley Limited, 2007).....8

Figura 2.8 – Estação Elevatória com Parafusos de Arquimedes (Archimedes Screw - Wikipedia, 2007) 8

Figura 2.9 – Esquema de funcionamento de uma Bomba Centrífuga (Bomba – Diciopédia 2004).....9

Figura 2.10 – Interface entre o colector de chegada e a estação elevatória (Patto, 1990).....11

Figura 2.11 – Interface entre a estação e a conduta elevatória (Patto, 1990).....11

Figura 2.12 – Estação Elevatória propriamente dita (Patto, 1990). 13

Figura 2.13 – Estações Elevatórias Pré-fabricadas (Grundfos, 2005): a) EE Típica; b) EE com Edifício de Manutenção acima do solo. 13

Figura 2.14 – Configurações de entradas de esgoto a evitar: uma altura de queda demasiado elevada pode provocar a entrada de ar na bomba, causando problemas de funcionamento da bomba (Grundfos, 2005). 14

Figura 2.15 – Posicionamento da Linha de Energia em relação ao Perfil da Conduta Elevatória: a) correcto; b) errado. 16

Figura 3.1 – Exemplo de Perdas de Carga na tubagem interna de uma Estação Elevatória: o somatório de todos os Coeficientes de Perdas de Carga, $K_{Loc,i}$, dá o Coeficiente de Perdas de Carga Global, K_{Loc} (adapt. Grundfos, 2005).....26

Figura 4.1 – Diagrama de Caudais Afluentes para definir o Caudal de Cálculo 35

Figura 4.2 – Possibilidade de definir até 4 Diagramas Diários de Caudais Alfuentes Horários 36

Figura 4.3 – Caudal Afluente de Cálculo: selecção da opção para calcular o valor automaticamente a partir dos diagramas.....36

Figura 4.4 – Caudal Afluente de Cálculo: nestas circunstâncias, o utilizador introduz o valor manualmente.....37

Figura 4.5 – Caudal Bombado: produto do Caudal Afluente por um Coeficiente entre 1,05 e 1,50 (neste caso, $Q_B = 1{,}20 \times Q_A$).....38

Figura 4.6 – Caudal Bombado: valor ao critério do utilizador 38

Figura 4.7 – Coeficientes de Multiplicação de Q_B por Q_A 38

Figura 4.8 – Valor de Q_B definido pelo utilizador 38

Figura 4.9 – Pré-Dimensionamento do Diâmetro da Conduta Elevatória 39

Figura 4.10 – Selecção do Diâmetro Comercial, a partir do resultado do Pré-Dimensionamento 39

Figura 4.11 – Ao pedir para seleccionar um Diâmetro Comercial, surge uma Mensagem com instruções para ordenar a Base de Dados 39

Figura 4.12 – Aviso que surge quando a Velocidade do Escoamento está fora dos limites. 39

Figura 4.13 – Base de Dados relativos aos Materiais 40

Figura 4.14 – Lista pendente para seleccionar os Materiais. 40

Figura 4.15 – Introdução dos dados relativos às características do terreno, da instalação e do esgoto 40

Figura 4.16 – Perdas de Cargas Localizadas: introdução do valor do Coeficiente Glogal K_{Loc} 41

Figura 4.17 – Perdas de Cargas Localizadas: introdução do valor absoluto de Perdas Totais, ΔH_{Loc}. 41

Figura 4.18 – Desprezar as Perdas de Cargas Localizadas 41

Figura 4.19 – Indicação das Condições de Assentamento da Conduta 42

Figura 4.20 – Solicitação do Coeficente de Poisson para calcular C_1. 42

Figura 4.21 – Opções de escolha do Tipo de Câmara e das Unidades para exibição dos Resultados. 43

Figura 4.22 – Aviso que surge quando o Utilizador introduz um Volume inferior ao Mínimo Calculado. 43

Figura 4.23 – Parâmetros recalculados para o Volume da Câmara efectivamente escolhido 44

Figura 4.24 – Verificação das Restrições 44

Figura 4.25 – Esboço da Forma da Câmara, com indicação das Dimensões 44

Figura 4.26 – Introdução das Dimensões da Câmara: a) se é Pré-fabricada b) se é construída *"in situ"* 45

Figura 4.27 – Liberdade de decisão sobre as Dimensões da Câmara Pré-fabricada 45

Figura 4.28 – Liberdade de decisão sobre as dimensões da câmara construída *"in situ"*: a) base circular; b) base rectangular 45

Figura 4.29 – Análise de Desempenho através de Indicadores 51

Figura 4.30 – Aviso que impede o prosseguimento do cálculo se a soma das ponderações for diferente de 100% 51

Figura 4.31 – Aviso que surge se ocorre transbordamento, durante um período superior a 10 min, para a solução seleccionada. 51

Figura 4.32 – Parâmetros auxiliares para determinar a Pontuação do Indicador "Energia Eléctrica" . 53

Figura 4.33 – Índice de Desempenho atribuído ao Indicador "Energia Eléctrica" 53

Figura 4.34 – Parâmetros auxiliares para determinar a Pontuação do Indicador “Volume na Câmara de Aspiração” 54

Figura 4.35 – Índice de Desempenho atribuído ao Indicador “Volume na Câmara de Aspiração” 54

Figura 4.36 – Índice de Desempenho atribuído ao Indicador “Número de Arranques por hora” 55

Figura 4.37 – Índice de Desempenho atribuído ao Indicador “Tempo de Retenção do Esgoto” 55

Figura 4.38 – Índice de Desempenho atribuído ao Indicador “Velocidade do Escoamento na Conduta Elevatória” 56

Figura 5.1 – Localização da EE de Afife, adapt. http://www.aguasdominhoelima.pt (2008) 57

Figura 5.2 – Edifício de Apoio da EE de Afife (fonte: AdML) 58

Figura 5.3 – Sistema de retenção de sólidos e gorduras (fonte: AdML): a) traseiras do edifício de apoio, com porta da obra de entrada aberta b) grades e cesto para recolher as lamas, quando se limpam os dispositivos 59

Figura 5.4 – Válvulas de seccionamento nas tubagens de aspiração de cada grupo (fonte: AdML)...60

Figura 5.5 – Leitor do Medidor de Caudal (fonte: AdML).....60

Figura 5.6 – Quadro eléctrico (fonte: AdML).....60

Figura 5.7 – Gerador de Emergência (fonte: AdML).....60

Figura 5.8 – Câmara de Aspiração (fonte: AdML): a) câmara fechada; b) câmara aberta (são bem vísiveis duas boías de nível) 61

Figura 5.9 – Poço Sumidouro (fonte: AdML).....61

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tipos de Bombas Centrífugas (adapt. Tentúgal Valente, 1989 e Galvão, 2002) 10

Tabela 2.2 – Medidas a adoptar nas estações elevatórias de águas residuais, consoante as características do esgoto – baseado em (Jones, 2006, pp. 3-4) 17

Tabela 3.1 – Capitações relativas a consumos domésticos (DR n.º 23/95) 23

Tabela 3.2 – Indicações para cálculo do caudal de infiltração (adapt. DR 23/95).....24

Tabela 3.3 – Coeficiente de inclinação da conduta. (Betâmio de Almeida, 1990) 29

Tabela 3.4 – Coeficiente de inércia do grupo. (Betâmio de Almeida, 1990) 29

Tabela 3.5 – Número máximo de arranques por hora recomendado para bombas submersíveis, de acordo com a potência, (adpt. Grundfos, 2005).....30

Tabela 3.6 – Medidas de controlo da septicidade em condutas elevatórias de águas residuais (Ribeiro de Sousa & Saldanha Matos, 1990 e Grundfos, 2005). 32

Tabela 4.1 – Valores predefinidos para as características do esgoto 41

Tabela 4.2 – Restrições não cumpridas.....46

Tabela 5.1 – Características Técnicas da Conduta Elevatória da EE de Afife (fonte: AdML) 58

Tabela 5.2 – Características Técnicas dos Grupos Electrobomba (fonte: AdML).....59

Tabela 5.3 – Características da Câmara de Aspiração (fonte: AdML) 61

Tabela 5.4 – Ajuste dos indicadores para as semanas 1, 2 e 3 e o período total 64

Tabela 5.5 – Ajuste dos indicadores para as semanas 4 e 5 64

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

LETRAS LATINAS

a – celeridade das ondas elásticas ..... [LT^{-1}]

A – área ..... [L^2]

c – comprimento da câmara de aspiração ..... [L]

C – coeficiente de escoamento ..... [-]

C_1 – coeficiente de ancoragem ..... [-]

C_i – parâmetro experimental, relacionado com a inclinação da conduta, usado para calcular o tempo de anulação do caudal inicial pela expressão de Rosich ..... [T]

D – diâmetro da câmara de aspiração ..... [L]

D_{ext} (ou Ø) – diâmetro exterior (ou comercial) da conduta ..... [L]

D_{int} – diâmetro interior da conduta ..... [L]

e – espessura das paredes da conduta ..... [L]

E - módulo de elasticidade ou de Young ..... [$L^{-1}MT^{-2}$]

f_{ar} – factor de afluência à rede ..... [-]

f – factor de ponta instantâneo ..... [-]

g – aceleração da gravidade ..... [LT^{-2}]

h – altura da câmara de aspiração ..... [L]

H_M – altura de elevação manométrica ..... [L]

j – perda de carga unitária ..... [-]

k – rugosidade equivalente ..... [L]

K_i – coeficiente experimental, relacionado com a inércia dos grupos, usado para calcular o tempo de anulação do caudal inicial pela expressão de Rosich ..... [-]

K_{Loc} – coeficiente de perdas de carga localizadas ..... [-]

l – largura da câmara de aspiração ..... [L]

L – comprimento ..... [L]

n - coeficiente de Poisson ..... [-]

Q – caudal ..... [L^3T^{-1}]

Q_A – caudal afluente ..... [L^3T^{-1}]

$Q_{AR,dom}$ – caudal de águas residuais domésticas ..... [L^3T^{-1}]

$Q_{AR,ind}$ – caudal de águas residuais industriais ..... [L^3T^{-1}]

Q_{AP} – caudal de águas (residuais) pluviais ..... [L^3T^{-1}]

Q_B – caudal bombado ..... $[L^3T^{-1}]$

q_{inf} – caudal de infiltração, por unidade de área ..... $[L^3T^{-1}]$

Q_{inf} – caudal de infiltração ..... $[L^3T^{-1}]$

Re – número de Reynolds ..... [-]

S – secção interna da conduta ..... $[L^2]$

T – tempo de anulação do caudal inicial ..... [T]

t_1 – tempo de enchimento da câmara de aspiração ..... [T]

t_2 – tempo de funcionamento da bomba, por ciclo ..... [T]

t_3 – tempo que a partícula demora a percorrer a conduta ..... [T]

t_4 – tempo que a partícula se encontra parada na conduta ..... [T]

t_c – tempo de retenção na conduta ..... [T]

$V_{mín}$ – volume mínimo de cálculo da câmara de aspiração ..... $[L^3]$

V_{real} – volume real da câmara de aspiração ..... $[L^3]$

z – cota geométrica ..... [L]

Z – número de arranques, por unidade de tempo ..... $[T^{-1}]$

LETRAS GREGAS

γ – peso volúmico ..... $[L^{-2}MT^{-2}]$

ΔH_{CH} – variação máxima na linha piezométrica devida ao choque hidráulico ..... [L]

ΔH_{Loc} – perda de carga localizada ..... [L]

ΔH_P – perda de carga principal ou contínua ..... [L]

ΔH_{TOTAL} – perda de carga total ..... [L]

Δz – desnível geométrico ..... [L]

ε - módulo de elasticidade do fluido ..... $[L^{-1}MT^{-2}]$

λ – coeficiente de resistência do escoamento ..... [-]

μ – fase ..... [T]

ν – coeficiente de viscosidade cinemática ..... $[L^2T^{-1}]$

ρ – massa volúmica ..... $[ML^{-3}]$

Ø (ou D_{ext}) – diâmetro comercial (ou exterior) ..... [L]

ω – número de ciclos ..... [-]

ACRÓNIMOS

AdML – Águas do Minho e Lima, S.A.

DGA – Direcção Geral do Ambiente

DN – diâmetro nominal

DR – Decreto Regulamentar

EE – Estação Elevatória

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

GRI – Global Reporting Initiative

ID – Indicador de Desempenho

IDF – Intensidade/Duração/Frequência

ISO – International Organization for Standardization

IWA – International Water Association

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NPSH – Net Positive Suction Head

PEAASAR – Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais

PEAD – polietileno de alta densidade

pH – potencial hidrogeniónico

PN – pressão nominal

PP – polipropileno

PVC – cloreto de polivinilo

RAC – Reservatório com Ar Comprimido

SIDS – Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável

SNIRH – Serviço Nacional de Informação de Recursos Hídricos

VBA – Visual Basic for Applications

1

INTRODUÇÃO

Ao contrário do que sucede com as estações elevatórias dos Sistemas de Abastecimento de Água, as estações elevatórias de águas residuais implicam um dimensionamento mais complexo, devido, muito especial e particularmente, aos problemas de septicidade que o fluido em causa pode gerar. Assim sendo, considera-se que será importante desenvolver uma ferramenta que auxilie o desenvolvimento do projecto e as operações de gestão deste tipo de infra-estruturas.

A finalidade desta Tese é a de elaborar um algoritmo que defina a lei de exploração de um sistema elevatório de águas residuais, que deverá considerar como variáveis intervenientes as indispensáveis e necessárias, de forma a alargar as possibilidades de simulação da exploração integrada de uma estação elevatória e órgãos a ela associados, no sentido de um melhor desempenho técnico, económico e ambiental.

Para além do desenvolvimento do citado algoritmo, procurou-se demonstrar-se, na parte final, o interesse deste trabalho através de exemplos de aplicação que simulam o projecto de uma estação elevatória já em operação.

Assim, após esta breve introdução geral, o Capítulo 2 faz o enquadramento do tema estudado. Explica-se onde e porque se incluem sistemas elevatórios de águas residuais no Ciclo de Utilização da Água, quais os sistemas usualmente utilizados, expondo as suas vantagens e desvantagens. Finda esta apresentação geral, pormenoriza-se a caracterização dos sistemas com bombas centrífugas submersíveis, referindo algumas medidas a seguir para a concepção de um sistema mais eficiente.

O Capítulo 3 destina-se à explicação do processo de dimensionamento hidráulico sanitário destes sistemas, de acordo com as normas em vigor e alguma literatura da especialidade. Indica-se como calcular os caudais afluentes e a elevar pela conduta elevatória, como determinar as perdas de carga e os efeitos do choque hidráulico e como calcular o volume útil necessário para a câmara de aspiração. Termina-se com uma referência às consequências da septicidade dos esgotos transportados e às medidas que se podem tomar para mitigar os seus efeitos.

O Capítulo 4 expõe o modo de funcionamento do algoritmo criado para a avaliação do funcionamento de sistemas elevatórios com bombas centrífugas submersíveis. Começa por explicar as cinco partes fundamentais em que se divide o Programa e depois explora mais pormenorizadamente cada uma delas. A descrição é acompanhada de imagens elucidativas, pretendendo funcionar como um manual

de utilização do Programa. Relativamente à última parte, a Análise de Desempenho à custa da definição e consideração de Indicadores de Desempenho, é feita uma referência especial e mais abrangente ao estado da arte do tema, dando especial relevo aos indicadores propostos pela International Water Association (IWA) e pela Global Reporting Initiative (GRI). Só depois se especificam quais os indicadores adoptados para o caso concreto das estações elevatórias de águas residuais e respectivos os critérios de avaliação.

No Capítulo 5 apresenta-se a estação elevatória em funcionamento cujos registos foram usados para efectuar simulações no Programa desenvolvido. Explica-se como se efectuou a aplicação e apresentam-se os resultados, fazendo uma análise crítica dos resultados obtidos e propostas para melhorar o funcionamento daquele sistema em particular.

Por fim, o Capítulo 6 reúne as conclusões que foram possíveis retirar no decurso do trabalho.

2

ENQUADRAMENTO

2.1. CICLO DE UTILIZAÇÃO DA ÁGUA

O ciclo da água (ou ciclo hidrológico) corresponde ao conjunto de sucessivos fenómenos que descrevem a circulação natural da água (nos seus vários estados) no planeta. A Figura 2.1 pretende representar esquematicamente este ciclo.

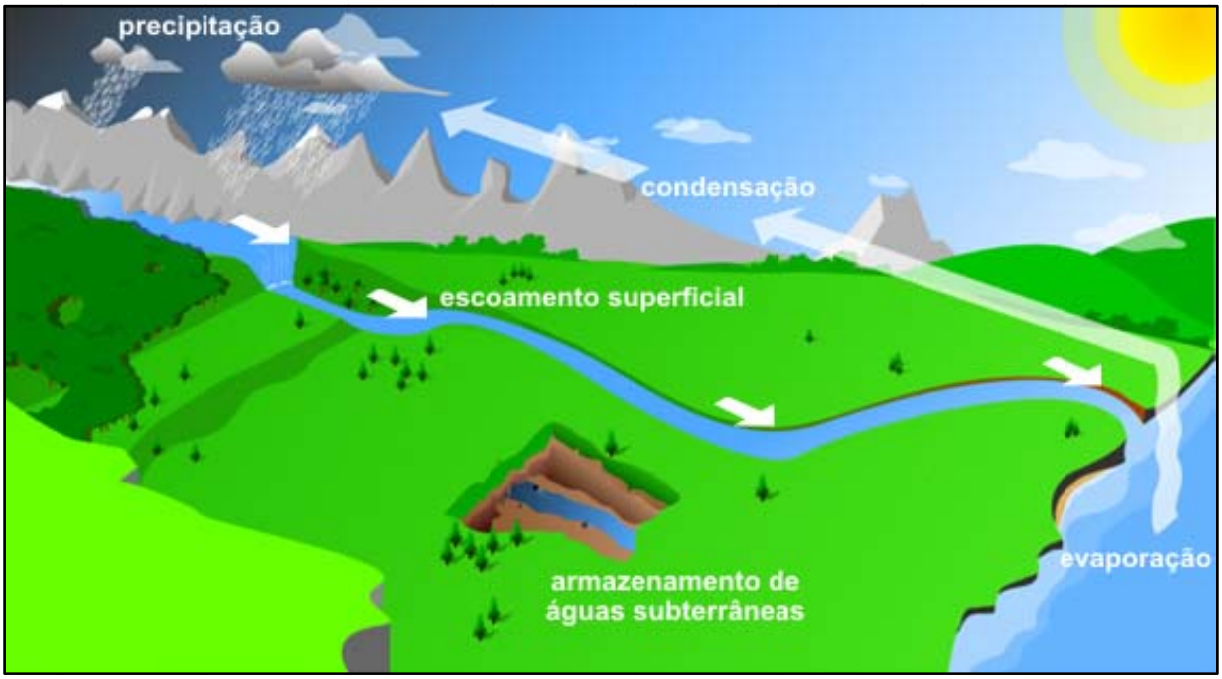


Figura 2.1 – Ciclo Hidrológico, adapt. (Consorcio de Aguas de Asturias, 2007)

O movimento da água deve-se à energia solar e à gravidade. A primeira provoca a evaporação da água retida nos reservatórios naturais que existem à superfície do planeta (oceanos, rios, superfícies continentais). Graças a esta evaporação e à evapotranspiração das plantas e dos animais, a água passa ao estado gasoso e migra para a atmosfera. Quando as temperaturas atmosféricas baixam, ocorre condensação do vapor de água e formam-se aglomerados de pequenas gotas – as nuvens. Quando as devidas condições se reúnem, então ocorre precipitação da água, sob a forma líquida ou sólida (por exemplo, chuva ou neve, respectivamente).

A água que atinge o solo tem diferentes destinos. Parte é devolvida à atmosfera através da evaporação, parte infiltra-se no interior do solo, alimentando os lençóis subterrâneos. Outra escorre sobre a superfí-

cie em direcção às áreas de altitudes mais baixas, alimentando directamente os lagos, riachos, rios, mares e oceanos (Ciclo Hidrológico - Wikipédia, 2007). E aí recomeça todo este ciclo.

No entanto, a água que é captada pelo Homem (por exemplo, em albufeiras) entra num subciclo, o ciclo de utilização da água. A captação pode ter diversos objectivos, nomeadamente a produção de energia e o consumo humano. No primeiro caso, a restituição da água faz-se imediatamente à saída das turbinas. Mas no segundo caso o percurso da água é mais longo e complexo, envolvendo outras etapas, conforme se pode ver na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Captação de água para consumo (adapt. Consorcio de Aguas de Asturias, 2007)

A água começa por ser captada superficialmente (através de albufeiras nos rios) ou a partir das reservas subterrâneas (aquíferos). Segue-se uma fase de tratamento da água, de forma a torná-la apta para o uso a que se destina (por exemplo, para consumo humano). Este primeiro tratamento é levado a cabo nas chamadas Estações de Tratamento de Água, ETA.

Depois de tratada, a água está pronta a ser conduzida às zonas urbanas. Este transporte pode realizar-se graviticamente ou sob pressão (com estações elevatórias), dependendo essencialmente da topografia do terreno. Quando necessário, recorre-se a reservatórios de abastecimento para fazer regularização dos volumes de água a aduzir.

Chegando à área de consumo, ocorre a distribuição: a conduta adutora principal ramifica-se de forma a fazer chegar a água aos diferentes pontos de consumo.

Terminada a distribuição, inicia-se a utilização da água para os mais diversos fins.

2.2. SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA

Analise-se mais em particular o processo de recolha e rejeição ou devolução das águas ao meio natural, esquematicamente sintetizado na Figura 2.3.

As águas usadas provenientes das instalações prediais podem ser conduzidas até instalações de tratamento privativas ou, através dos ramais domiciliários, seguem directamente para a rede de drenagem

de águas residuais urbana. Esta rede é constituída por colectores que transportam as águas residuais habitualmente num escoamento em regime de superfície livre.

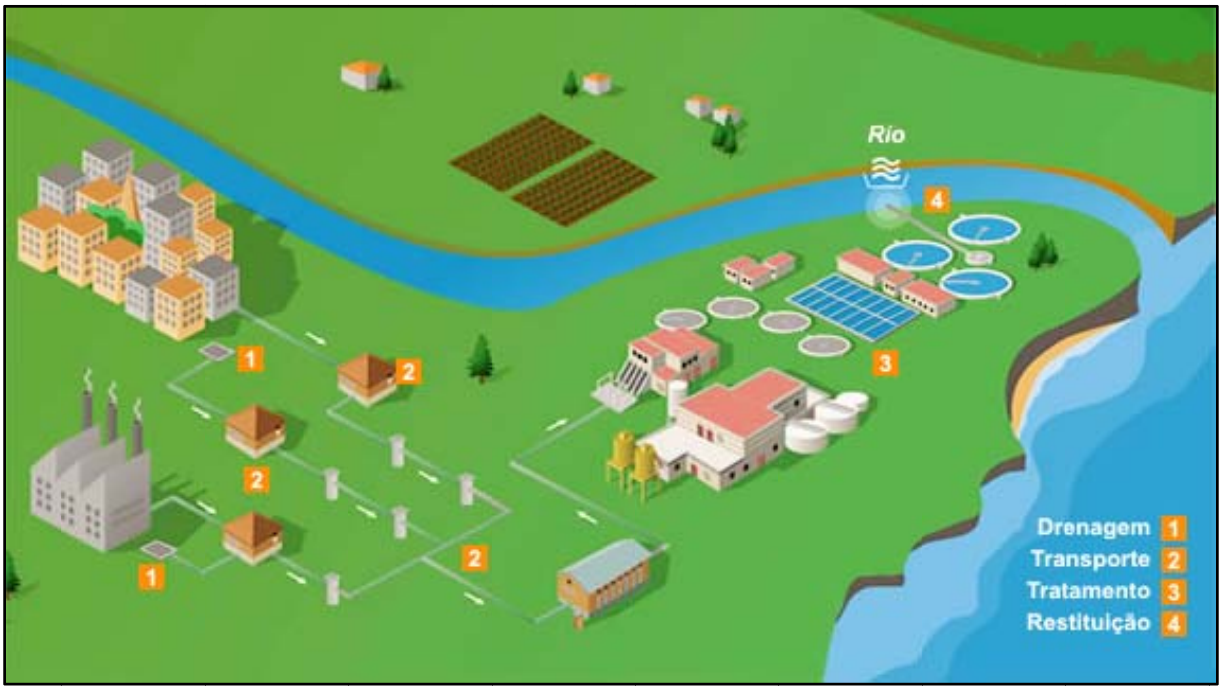


Figura 2.3 – Processo de rejeição ou devolução da água utilizada ao meio natural,
(adapt. Consorcio de Aguas de Asturias, 2007)

Os trechos de jusante de uma rede de drenagem que conduzem as águas residuais ao seu destino designam-se genericamente de emissários. São tubos a que, geralmente, não afluem ramais domiciliários localizando-se normalmente fora dos arruamentos, ao longo de depressões do terreno ou de margens de linhas de água. Por vezes, o transporte das águas residuais faz-se ao longo de várias bacias que drenam para uma envolvente periférica (por exemplo, a margem de um curso de água principal). Ao emissário implantado ao longo de tal envolvente é habitual designar-se especificamente de interceptor (Apontamentos da Disciplina de Hidráulica Urbana e Ambiental, 2004).

Os emissários conduzem então as águas residuais às Estações de Tratamento de Águas Residuais, ETAR, onde a água é tratada até que tenha propriedades compatíveis com a capacidade de biodegradação do meio receptor. No caso das redes unitárias, é normal preverem-se descarregadores de tempestade antes da estação para regularizar e repartir o escoamento quando ocorrem grandes precipitações (Art.º 167º, Decreto Regulamentar n.º 23/95).

O exutor será o emissário que conduz o efluente tratado ao meio receptor.

Sempre que possível, o transporte nos colectores e emissários deve ser gravítico. Mas nem sempre as circunstâncias topográficas e económicas o recomendam, pelo que se recorre muitas vezes a sistemas elevatórios, em que uma parte da sua exploração constitui o âmbito deste trabalho.

Sobre este aspecto, convém clarificar que se consideram três diferentes tipos de águas residuais, conforme descrito no Art.º 115º do Decreto Regulamentar n.º 23/95:

- "As águas residuais domésticas provêm de instalações sanitárias, cozinhas e zonas de lavagem de roupa e caracterizam-se por conterem quantidades apreciáveis de matéria orgânica, serem facilmente biodegradáveis e manterem relativa constância das suas características no tempo";

- "As águas residuais industriais derivam da actividade industrial, caracterizando-se pela diversidade de compostos físicos e químicos que contêm, dependentes do tipo de processamento industrial e, ainda, por apresentarem, em geral, grande variabilidade das suas características físicas e químicas no tempo";
- As águas (residuais) pluviais "resultam da precipitação atmosférica caída directamente no local ou bacias limítrofes contribuintes e apresentam geralmente menores quantidades de matéria poluente, particularmente de origem orgânica" (as águas resultantes de regas de jardins e espaços verdes, de lavagem de arruamentos, passeios, pátios e parques de estacionamento são consideradas equivalentes a águas pluviais).

Além disso, é importante referir que um sistema de drenagem se classifica, de acordo com o Art.º 116º do Decreto Regulamentar n.º 23/95, em:

- Unitário, quando as águas residuais domésticas ou industriais e pluviais são recolhidas na mesma rede.
- Separativo, quando há duas redes distintas, de forma a receber separadamente as águas pluviais das residuais domésticas ou industriais.
- Misto, quando uma parte da rede é unitária e a restante separativa;
- Separativos parcial ou pseudo-separativo, quando está prevista uma ligação excepcional de águas pluviais de pátios interiores ao colector de águas residuais domésticas.

2.3. SISTEMAS ELEVATÓRIAS DE ÁGUAS RESIDUAIS

A estrutura e o *layout* do sistema elevatório dependem do tipo de grupos elevatórios instalados. Os mais usados são os Ejectores Pneumáticos, os Parafusos de Arquimedes e as Bombas Centrífugas, de que se fará, de seguida, uma breve descrição geral.

2.3.1. EJECTORES PNEUMÁTICOS

Os grupos de Ejectores Pneumáticos são mais indicados para os casos em que o caudal e a altura de elevação são baixos: respectivamente, cerca de 5 l/s e 15 a 30 m, no máximo (Tentúgal Valente, 1989 e Galvão, 2002).

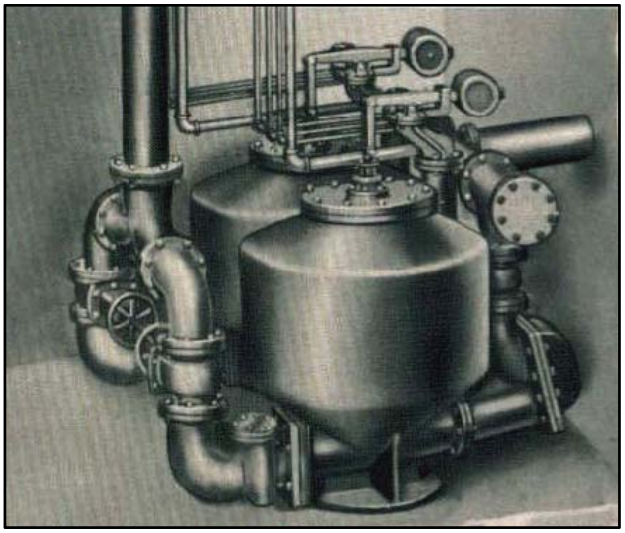


Figura 2.4: Ejector Pneumático Shone (Yeomans Pump, 2002)

Estes limites, associados a outros aspectos como o elevado custo e significativo consumo de energia, o ruído provocado pelo seu funcionamento e o baixo rendimento (Tentúgal Valente, 1989), afiguram-se como significativas desvantagens quando comparado com outras opções (nomeadamente as bombas centrífugas – v. Subcapítulo 2.3.3).

Além disso, a utilização deste tipo de grupos exige uma velocidade razoável de auto-limpeza na conduta elevatória, para arrastar o ar que se tende a acumular nos pontos altos ou nos pontos de inflexão do perfil da conduta (Patto, 1990).

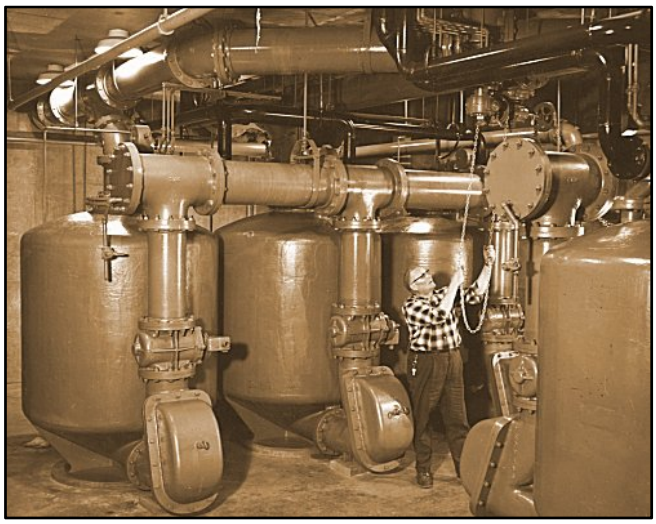
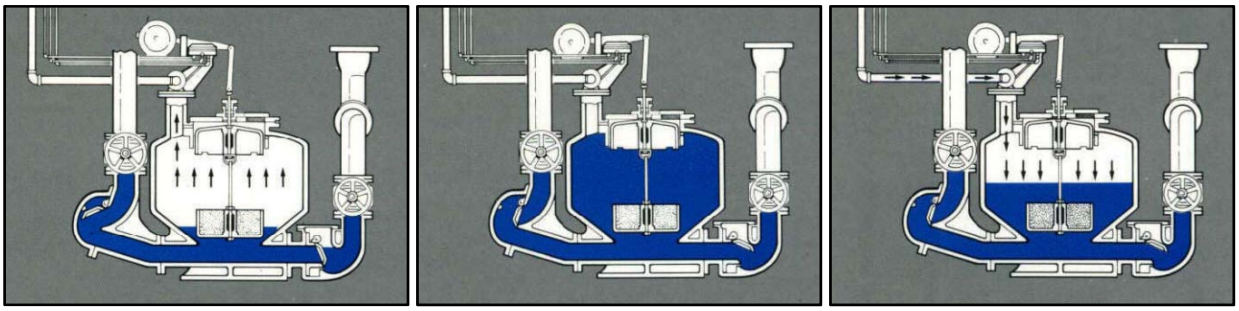


Figura 2.5 – Ejector Pneumático de Grandes Dimensões (notar o operador)
(Yeomans Pump, 2007)

Mas, como é óbvio, este tipo de grupos tem as suas vantagens. Entre elas destacam-se os seguintes aspectos (Tentúgal Valente, 1989; Patto, 1990; e Yeomans Pump, 2002):

- tem uma estrutura robusta;
- não é tão sujeito a entupimentos (ao contrário do que acontece em bombas centrífugas, para caudais pequenos);
- a regularização de caudais faz-se dentro do próprio ejector (v. Figura 2.6);
- sendo a panela do ejector hermeticamente fechada, não saem cheiros nem gases odorosos ou tóxicos para o exterior;
- o próprio ar comprimido, que serve para o transporte, também contribui para arejar o esgoto que, desse modo, é mantido com um menor grau de septicidade.



a) b) c)

Figura 2.6 – Esquema do Funcionamento de um Ejector Shone (Yeomans Pump, 2002):
a) Fase de Enchimento; b) Ejector Cheio; c) Fase de Descarga

Estes são bons motivos que recomendam a utilização destas máquinas nas pequenas estações.

2.3.2. PARAFUSOS DE ARQUIMEDES

O Parafuso de Arquimedes foi inventado em 236 a.C. pelo matemático grego Arquimedes: é portanto um dos instrumentos mais antigos que ainda hoje é utilizado (Parafuso de Arquimedes – Diciopédia 2004).

O funcionamento do Parafuso de Arquimedes muito simples mas muito engenhoso (v. Figura 2.7). Consiste num cilindro em que, no seu centro se encontra um varão ao qual está associado uma espiral. "Para funcionar, coloca-se a extremidade do cilindro dentro de água e, através do movimento rotacional do mesmo, a água que se encontra a um nível inferior é transportada para um nível superior" (Diciopédia 2004).

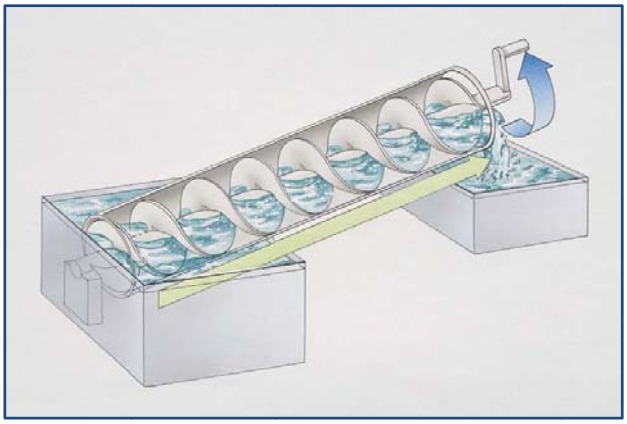


Figura 2.7 – Funcionamento do Parafuso de Arquimedes
(Dorling Kindersley Limited, 2007)

"A geometria do parafuso de Arquimedes tem em conta certos parâmetros externos tais como o raio externo, o comprimento e a inclinação e certos parâmetros internos como o raio interno, o número de voltas e o passo da espiral. Os parâmetros externos são usualmente determinados pela localização do parafuso e pela quantidade de água que vai ser elevada. Os parâmetros internos, podem ser escolhidos de modo a optimizar o desempenho do parafuso" (Parafuso de Arquimedes – Diciopédia 2004).

Figura 2.8 – Estação Elevatória com Parafusos de Arquimedes
(Archimedes Screw - Wikipedia, 2007)

Trata-se de uma estrutura robusta e que permite um funcionamento contínuo com elevados rendimentos, sem tubos e capaz de elevar qualquer gama de caudais afluentes. Contudo, na prática, a sua utilização fica muito condicionada pela estreita gama de altura de elevação – no máximo, 7 ou 8 m (Galvão, 2002) – e pela distância que separa os pontos entre os quais esta se realiza (Tentúgal Valente, 1989).

Além disso, os custos deste equipamento e da construção civil associada à sua implantação são elevados, o que acaba por tornar esta opção pouco recomendável na generalidade dos casos.

2.3.3. Bombas Centrífugas

Há dois tipos de bombas que se usam geralmente nas estações elevatórias: centrífugas e axiais. As primeiras usam, tal como o nome indica, a força centrífuga para movimentar o líquido de um ponto ao outro e aumentar-lhe a pressão. O fluido entra axialmente no impulsor, que com o seu movimento de rotação acaba por forçá-lo a sair a alta velocidade pela conduta de impulsão (Novais-Barbosa, 1986) – v. Figura 2.9.

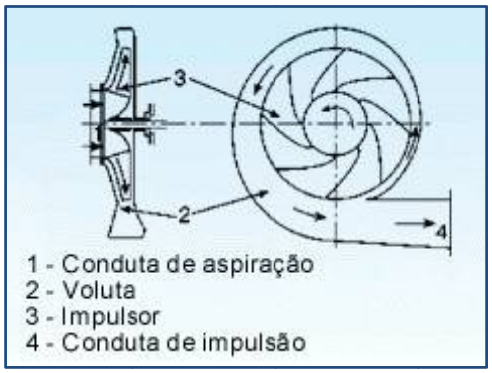


Figura 2.9 – Esquema de funcionamento de uma Bomba Centrífuga (Bomba – Diciopédia 2004)

Por outro lado, no caso das bombas axiais, a direcção do percurso da água e a da força exercida para a impulsionar são axiais em relação ao eixo do impulsor (Bankston, 2005).

Estas bombas são mais indicadas quando os desníveis a vencer são pequenos e os caudais são relativamente grandes. O seu rendimento é elevado, especialmente para alturas de elevação entre 2,5 e 6 m (Bankston, 2005). A principal vantagem que apresenta em relação às bombas centrífugas é a da capacidade que têm de transportar com sólidos em suspensão no fluido. As bombas centrífugas, especialmente as de mais alto rendimento, poderão ter problemas de funcionamento se o fluido tiver muito sólidos. Por outro lado, têm a importante vantagem de serem mais eficientes para alturas de elevação maiores.

O presente trabalho privilegia a atenção nas bombas centrífugas, que são os mais correntemente utilizados em estações elevatórias de águas residuais.

Os grupos de bombas centrífugas, podem ainda ser classificadas consoante a localização da bomba e do motor. Algumas vantagens e desvantagens de cada tipo de instalação são apresentadas na Tabela 2.1.

Há ainda a possibilidade de recorrer a bombas centrífugas de velocidade variável que, de certo modo, conjugam as vantagens dos Parafusos de Arquimedes com as das bombas centrífugas de velocidade constante, ajustando a exploração às flutuações dos caudais.(Tentúgal Valente, 1989).

Tabela 2.1 – Tipos de Bombas Centrífugas (adapt. Tentúgal Valente, 1989 e Galvão, 2002)

Bombas Centrífugas		Características
Submersíveis	motor submerso	Tem a vantagem de exigir pouco espaço para a sua instalação e, por isso, implica uma menor obra de construção civil. O acesso à bomba é fácil mas o motor necessita de maiores cuidados de manutenção. Contudo, geralmente não permitem a elevação de caudais superiores a 15 l/s e o custo deste equipamento costuma ser elevado.
	motor a seco	Apesar de terem um custo elevado e implicarem uma obra de construção civil relativamente importante, podem elevar caudais até 100 l/s e a alturas que rondam os 40 m.
Não submersíveis	eixo vertical	Não exige muito espaço para a colocação das bombas mas tem a desvantagem de haver um eixo de transmissão, o que causa alguns empenamentos. Tanto a aquisição do equipamento como a sua manutenção representam investimentos significativos. Além disso, o acesso ao grupo é complicado. Só são por isso aconselháveis naqueles casos em que a câmara de aspiração está situada numa cota baixa e que de outra forma implicaria uma obra de construção civil avultada.
	eixo horizontal	Apesar de o equipamento em si ter um custo relativamente baixo, o espaço que requer e as obras de construção civil acabam por tornar esta solução cara.

2.3.3.1. Constituição de um Sistema Elevatório com Bombas Centrífugas

O sistema elevatório é essencialmente composto por três partes (Patto, 1990).

a) uma estação elevatória, propriamente dita;
b) uma interface entre essa estação e as afluências (colectores) e;
c) outra interface entre a mesma estação e as efluências (conduta elevatória).

A interface estação-colectores (v. Figura 2.10) deve incluir, pelo menos:

- um **sistema para prevenir a entrada de sólidos em suspensão** de dimensões demasiado grandes ou em quantidades exageradas (ou, eventualmente, um triturador), pois poderiam danificar a bomba ao provocar entupimentos e erosão;
- um **sistema de isolamento** da estação que inclua, no mínimo, uma válvula de seccionamento e uma descarga de emergência a montante dessa válvula, para melhor executar actividades de reparação e manutenção;
- consoante os requisitos específicos de cada caso, é ainda possível encontrar sistemas de **separação e extracção de areias**, de **remoção de gorduras** e **medidores de caudal**[1].

[1] Os sistemas de medição de caudal são pouco frequentes, mas é recomendável a sua implantação para permitir uma melhor gestão e avaliação do funcionamento do sistema.

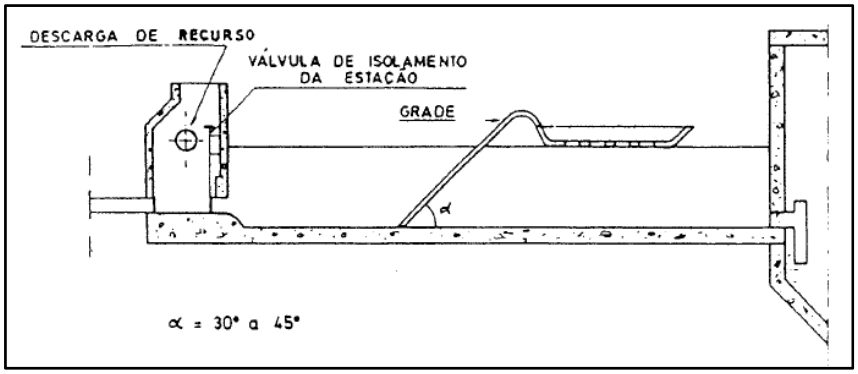


Figura 2.10 – Interface entre o colector de chegada e a estação elevatória (Patto, 1990)

Se a ligação directa do colector à estação não for aconselhável ou suficiente, deve prever-se a implantação de uma câmara de chegada, onde se incluem os tais equipamentos de retenção de sólidos (como grelhas e desarenadores) ou trituradores.

Estes últimos são órgãos de elevado preço e que exigem uma manutenção importante, pelo que não são muito usados. Além disso, em alternativa existem já grupos que trituram os sólidos de maiores dimensões que vêm com o esgoto.

Os desarenadores são particularmente aconselháveis nos casos em se lida com águas provenientes de redes unitárias ou de redes de estações balneares, para separar as areias arrastadas (Tentúgal Valente, 1989).

Geralmente, designa-se este conjunto por **obra de entrada**. Algumas recomendações adicionais são apresentadas mais adiante, na Tabela 2.2.

Por outro lado, a interface estação-conduta elevatória (v. Figura 2.11) deve ser constituída pelos seguintes elementos:

- um sistema de descarga da conduta elevatória, compreendendo uma válvula de seccionamento e um colector conduzido para a descarga de recurso ou para a de emergência (ou, se tal não for viável, para a câmara de regularização do caudal);
- um dispositivo especial de ligação e transição da tubagem interior da estação à conduta elevatória exterior, pois, habitualmente, estas duas tubagens geralmente apresentam algumas diferenças, como por exemplo diferentes materiais e diâmetros;
- se necessário, um dispositivo de protecção contra os efeitos do choque hidráulico (como, por exemplo, um reservatório de ar comprimido ou um volante de inércia) e um medidor de caudal.

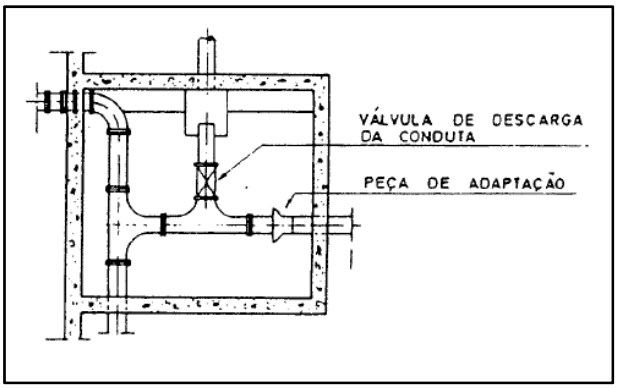


Figura 2.11 – Interface entre a estação e a conduta elevatória (Patto, 1990).

Por fim, a estação elevatória em si (v. Figura 2.12) é constituída por:

- um compartimento onde é recolhida a água residual a elevar e onde se faz a regularização dos caudais, havendo diferentes designações para este elemento, como por exemplo, câmara (ou poço) "de regularização" ou "de aspiração" ou "molhada" – neste trabalho opta-se por designar este elemento como câmara de aspiração;
- outro compartimento, desta vez para instalar os grupos elevatórios (se não estiverem submersos, caso contrário ficam na própria câmara de aspiração) e o quadro eléctrico; a de câmara (ou poço) "seca(o)" ou "das bombas (dos grupos)" – neste trabalho opta-se por usar a designação câmara dos grupos;
- opcionalmente e dependendo da dimensão do sistema pode ser criada uma "câmara de manobras", que serve para alojar, em estações relativamente grandes, o quadro eléctrico e as válvulas (de seccionamento e de retenção);
- uma descarga de emergência para redireccionar os caudais afluentes nas ocasiões em que as bombas deixem de funcionar ou quando, durante certos períodos de tempo, o caudal afluente for tão elevado que a vazão se torne insuficiente.

A câmara da Figura 2.12 é construída "*in situ*", mas hoje em dia, é também muito comum recorrer-se a câmaras de aspiração pré-fabricadas, como a da Figura 2.13. São estruturas cilíndricas, em fibra de vidro reforçada com poliéster, com medidas relativamente variadas, para atender às diferentes necessidades de cada caso (Bentes, 1999).

2.3.3.2. Recomendações Gerais para a Concepção de um Sistema Elevatório Eficiente

O *layout* da câmara dos grupos e da câmara de aspiração é o parâmetro com mais peso na determinação dos custos de implantação e exploração da obra. O *layout* adoptado influenciará os custos de escavação e estruturais e as despesas com ventilação e iluminação.

Assim, conceber um *layout* eficiente equivale a preservar as dimensões de projecto da estrutura sem sacrificar a optimização do desempenho das máquinas ou o acesso de funcionários para as operar e realizar actividades de manutenção. Algumas medidas que se podem tomar no sentido de promover esta eficiência são (Tentúgal Valente, 1989; Patto, 1990; Galvão, 2002; Jones, 2006):

- Usar as paredes da câmara como apoio para suster equipamentos pesados, como válvulas e tubagens;
- Evitar que a configuração das tubagens impeça ou dificulte o acesso aos equipamentos;
- Colocar órgãos acessórios, tais como válvulas de seccionamento, de retenção e redutoras de pressão e medidores de caudal, numa parede adjacente ao grupo, de forma a evitar obstrução da área à volta do grupo e melhorar o acesso para operações de manutenção;
- Evitar fazer uma ligação da descarga a um tubo de distribuição ou a um tubo de comunicação a partir de cotas inferiores, uma vez que tal propicia o afogamento das válvulas de retenção e das tubagens: por isso, a ligação deve ser feita lateralmente. Para evitar o afogamento das válvulas e das tubagens suprajacentes, as válvulas deverão ficar em tubagens horizontais e nunca em tubagens verticais;
- Em estações elevatórias mais simples, em que a descarga final não está completamente submersa, é preferível usar uma válvula de maré na interface de chegada do esgoto, evitando assim desperdiçar espaço com isolamentos e válvulas de retenção;
- Prover a estação de uma iluminação adequada, dando preferência à luz natural;

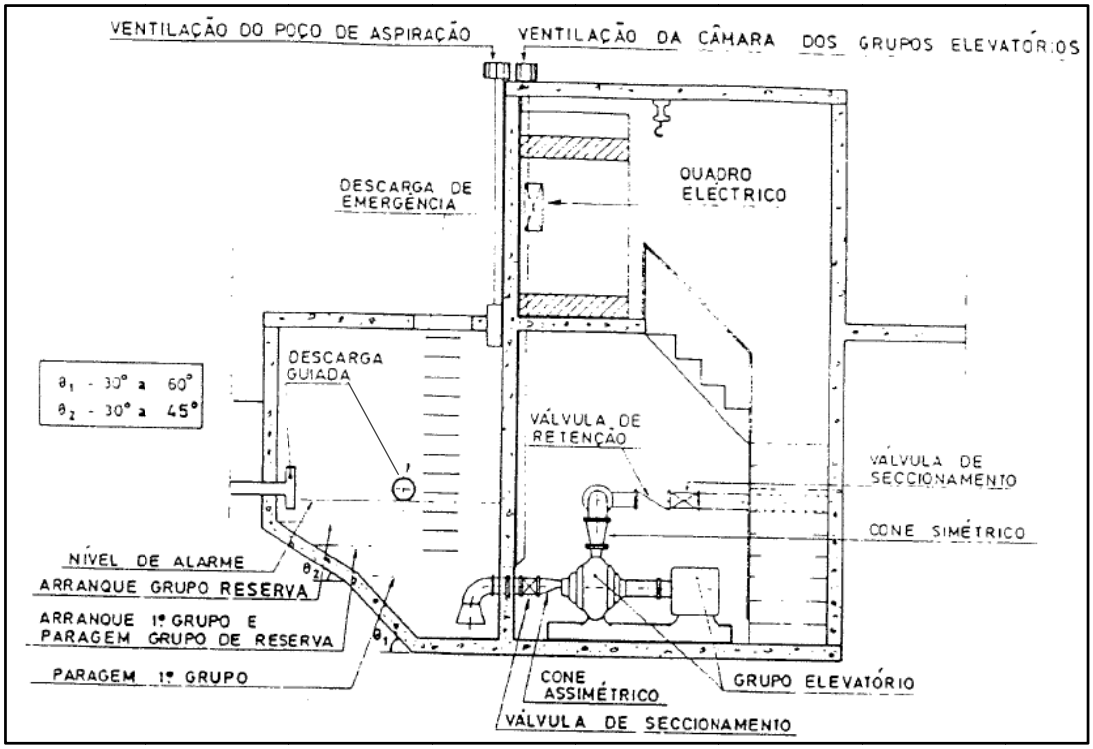


Figura 2.12 – Estação Elevatória propriamente dita (Patto, 1990).

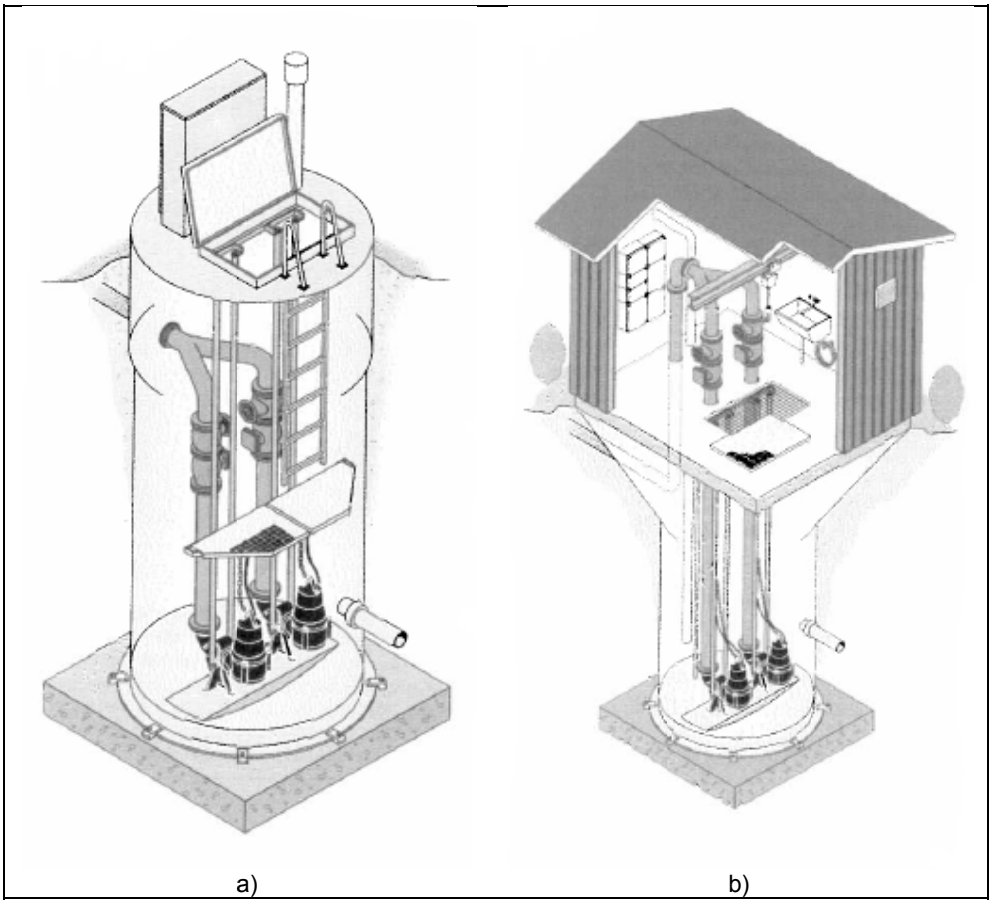


Figura 2.13 – Estações Elevatórias Pré-fabricadas (Grundfos, 2005):
a) EE Típica; b) EE com Edifício de Manutenção acima do solo.

- Providenciar espaço suficiente entre os limites das flanges das tubagens e os grupos e as válvulas de descarga para uma equipa de trabalhadores aí poder operar (e não apenas um funcionário sozinho);
- Assegurar condições que permitam uma evacuação rápida e sem obstáculos para os funcionários que trabalharem na câmara dos grupos;
- A ventilação da câmara de aspiração deve ser totalmente independente da ventilação da câmara dos grupos e todos os orifícios para passagem das condutas e dos cabos eléctricos devem ficar perfeitamente estanques à prova de gás:
  - na câmara de aspiração, deve-se garantir uma eficiente circulação do ar para impedir a acumulação de odores e humidade e evacuar adequadamente os gases. Convém localizar o exaustor próximo do ponto onde se acumulam as lamas (porque é aí que os gases se tendem a acumular) e a entrada de ar fresco longe deste, preferencialmente acima da entrada do esgoto;
  - na câmara dos grupos, se se optar por ventilação artificial deve fazer-se por insuflação de ar (de forma a manter pressão positiva dentro da câmara e assim mitigar a infiltração de gases provenientes do esgoto);
  - em estações mais pequenas e sem pessoal permanente, um tubo de ventilação livre com ligação à atmosfera é suficiente (um diâmetro de aproximadamente 100 mm deve ser suficiente);
- Adoptar medidas que dificultem a formação de "crostas" resultantes da saponificação das gorduras sobrenadantes presentes no esgoto. Por exemplo, implementando um alargamento brusco da superfície do líquido, quando se atingem níveis superiores, fomenta-se a desagregação destas "crostas". Alternativamente, pode-se recorrer a equipamentos mecânicos com hélice (agitadores submersíveis) que, com o seu movimento, provocam a fragmentação das "crostas";
- Dispor as entradas das condutas de aspiração das bombas de tal forma que minimize a acumulação de sedimentos no fundo da câmara (por exemplo, aspirações em cotovelo voltado para baixo, com a extremidade em forma de sino). Conjuntamente, uma configuração das paredes da câmara que seja inclinada no fundo (a 45º, por exemplo) favorece o arrastamento das partículas para a zona de aspiração das bombas;
- Evitar que a entrada do esgoto forme vórtices, arrastando ar para a aspiração das bombas e assim induzindo a ocorrência de cavitação (v. Figura 2.14), ou que provoque uma ondulação excessiva junto das sondas de comando. Nesse sentido, é aconselhável instalar quedas guiadas, deflectores, tubos em T ou câmaras de amortecimento;

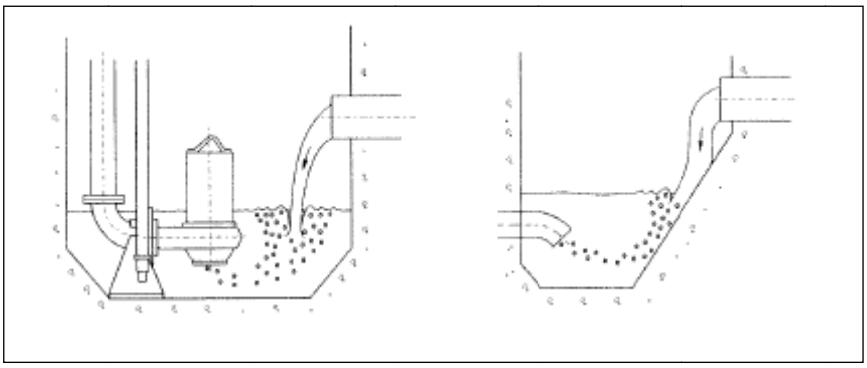


Figura 2.14 – Configurações de entradas de esgoto a evitar: uma altura de queda demasiado elevada pode provocar a entrada de ar na bomba, causando problemas de funcionamento da bomba (Grundfos, 2005).

- Instalar as tubagens e os acessórios dentro da estação de forma a facilitar a sua montagem e desmontagem (por exemplo, no caso de troços rectos entre dois pontos fixos, deve-se aplicar juntas elásticas);
- Escolher materiais resistentes à agressividade química das águas residuais para as tubagens a instalar na câmara: recomenda-se o ferro fundido dúctil ou o aço, de preferência sem costura, mas convenientemente protegido, interior e exteriormente, com uma pintura à base de resinas epóxi ou de asfalto.

Configuração da Câmara de Aspiração

A geometria da câmara depende de uma série de aspectos, entre eles o tipo e a quantidade de grupos elevatórios e a topografia da área de implantação. Geralmente, usa-se a forma cilíndrica quando as bombas ficam submersas e forma paralelepipédica quando os grupos ficam em câmara seca (Patto, 1990).

O seu fundo deverá ser inclinado de cerca de 20º a 30º de modo a permitir o escoamento de lamas que acabam por depositar em direcção à zona de aspiração das bombas. As paredes internas deverão ser revestidas com uma pintura que proteja o material constituinte da câmara da acção corrosiva do esgoto (Tentúgal Valente, 1989).

Regulação de Níveis

A regulação de níveis é feita através de sondas de comando: são geralmente bóias em forma de "pêra" que flutuam no esgoto, com interruptores de nível. Estes interruptores estabelecem ou desfazem um contacto eléctrico consoante a sua inclinação, que vai depender do nível de água na câmara (Tentúgal Valente, 1989). Como estão ligadas ao quadro eléctrico, dão instruções de comando aos grupos para começar ou parar de funcionar conforme o nível de água residual na câmara.

Numa estação elevatória com dois grupos bomba, por exemplo, deverão ser instalados (Tentúgal Valente, 1989):

- um interruptor de nível mínimo dando a indicação de paragem da 2ª bomba;
- um outro interruptor de nível mínimo determinando a paragem da 1ª bomba;
- um interruptor de nível intermédio determinando o arranque da 1ª bomba;
- um interruptor de nível máximo determinando o arranque da 2ª bomba;
- um interruptor de nível máximo extra ligado a um alarme acústico e/ou luminoso.

Os quatro interruptores justificam-se com o funcionamento simultâneo das duas bombas: quando a câmara fica mais cheia e uma só bomba não consegue extrair esgoto a um rácio que cubra o caudal afluente. O último interruptor é uma redundância que fortalece a segurança do sistema.

Se os grupos estiverem a funcionar submersos, o interruptor que comanda a paragem da 1ª bomba deve ser accionado a um nível que mantenha as bombas imersas no esgoto, já que assim ficam menos vulneráveis à corrosão (Bentes, 1999).

Caso a entrada do esgoto provoque ondulação excessiva junto das sondas, uma solução será colocar as sondas em zonas de tranquilização, como por exemplo no interior de tubos, suspensos às paredes da câmara por abraçadeiras (Tentúgal Valente, 1989).

Conduta Elevatória

O perfil longitudinal da conduta elevatória deve acompanhar o perfil do terreno, sem nunca interceptar a linha de energia do escoamento (v. Figura 2.15).

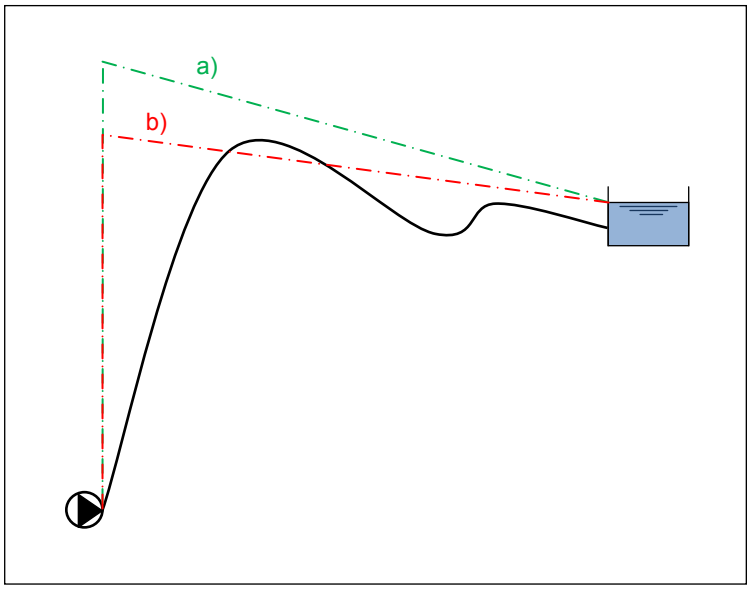


Figura 2.15 – Posicionamento da Linha de Energia
em relação ao Perfil da Conduta Elevatória:
a) correcto; b) errado.

Sempre que necessário, as condutas devem ser dotadas de descargas de fundo (nos pontos baixos) e ventosas próprias para águas residuais (nos pontos altos). Pontualmente (essencialmente em curvas) pode ser necessário executar maciços de encosto para resistir aos impulsos transmitidos e à capacidade de carga do terreno.

É indispensável a análises de regimes transitórios (choque hidráulico), aplicando dispositivos de protecção adequados quando necessário[2].

Os materiais a usar para o transporte de águas residuais sob pressão são, de acordo com o Art.º 142º do Decreto Regulamentar n.º 23/95, o fibrocimento, plásticos como PVC[3], o ferro fundido e o aço. O Art.º 143º completa esta informação lembrando que se os materiais forem susceptíveis à agressividade bioquímica do fluido em questão, devem ser protegidos com um revestimento interno adequado. Caso o solo ou as águas freáticas sejam também agressivos, o mesmo artigo recomenda protecção exterior das tubagens.

Relativamente às pressões nominais das tubagens, é recomendável que não sejam inferiores a 0,8 MPa ou, muito excepcionalmente e com sólida justificação, 0,6 MPa (Patto, 1990).

Descarga de Emergência

A estação elevatória deve ter uma descarga de emergência, imediatamente acima do nível máximo atingível pelas águas residuais na câmara, que funcionará em caso de emergência, quando ocorrer, por exemplo, um corte de energia eléctrica (Tentúgal Valente, 1989).

---

[2] Este assunto será versado com mais pormenor no Subcapítulo 3.1.4.2.
[3] Actualmente, também se usam outros plásticos, como o PEAD e o PP corrugado.

Órgãos acessórios

Em cada grupo devem ser instaladas válvulas de retenção e de seccionamento (por esta ordem).

A instalação de manómetros é importante, mas porque o ambiente húmido e corrosivo das câmaras de aspiração os danificaria, só são aconselháveis em sistemas com bombas a seco (Tentúgal Valente, 1989).

Dependendo das dimensões da estação elevatórias, outros órgãos acessórios poderão vir a ser necessários, nomeadamente (Tentúgal Valente, 1989):

- dispositivos de manobra dos grupos (guinchos, *monorails* e outros);
- medidores de caudal;
- circuitos de iluminação;
- circuitos de tomadas de corrente;
- abastecimento de água;
- …

2.4. SITUAÇÃO ACTUAL – PROBLEMAS A RESOLVER

Um projecto adequado e eficiente é o principal aspecto a conseguir no sentido de dispor de um bom funcionamento do sistema. Só que, no caso das águas residuais em particular, os dados de que se dispõe para avançar com cálculos nem sempre são suficientes e/ou fiáveis. Além do mais, as características das águas residuais podem variar bastante – não há uma *água residual padrão* (Jones, 2006). Na Tabela 2.2 apontam-se algumas medidas a adoptar consoante as qualidades mais relevantes das águas residuais em causa.

Tabela 2.2 – Medidas a adoptar nas estações elevatórias de águas residuais, consoante as características do esgoto – baseado em (Jones, 2006, pp. 3-4)

Características das águas residuais	Medidas a adoptar
Elevada quantidade ou dimensão dos sólidos em suspensão	Introdução de gradagem mecânica para proteger as bombas (uma contrariedade relevante associada a esta medida é que exige uma intensa manutenção)
Anormal concentração de gradados	Instalação de um sistema de remoção de areias a montante ou recurso a materiais mais resistentes à abrasão, como ligas de ferro e níquel.
Presença de substâncias corrosivas	Utilização de revestimentos e materiais particularmente resistentes a essas substâncias.
Indícios de componentes tóxicos, explosivos ou inflamáveis	Monitorização do sistema e instalação de mecanismos de extracção do ar e ventilação.
Septicidade das águas residuais e formação de grandes quantidades de ácido sulfídrico.	Utilização de um revestimento específico nas paredes da câmara e recurso a bombas de velocidade variável, para reduzir o tempo de retenção do esgoto.

Os sistemas elevatórios exigem um investimento significativo, não só ao nível da sua construção (obras de construção civil, expropriação de terrenos e de equipamentos), mas também na sua operação (consumo de energia eléctrica) e em actividades de manutenção e reparação dos equipamentos electromecânicos. Por tudo isso, o seu projecto deve ser muito bem pensado e nunca precipitado.

Por vezes, o projecto não conduz a resultados suficientemente previdentes, adoptando-se o resultado (aparentemente) mais económico a que os cálculos conduzem. Este modo de proceder é insensato, devendo-se sempre experimentar outros resultados (por exemplo, introduzindo variáveis mais específicas e apropriadas ao caso em estudo), iterando-se até um resultado mais seguro, eficiente e que reduza ao mínimo eventuais problemas de manutenção (Tentúgal Valente, 1989).

É ainda essencial conceber um projecto bem estruturado e bem organizado, de modo a prevenir a necessidade de fazer alterações mais tarde, arriscando o sucesso da obra.

É certo que muitos problemas derivam do mau uso dos equipamentos ou de uma manutenção insuficiente durante o período de vida da obra, mas esses podem já estar fora do alcance do projectista.

2.5. DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

No seguimento do que foi dito no subcapítulo anterior, procurou-se criar uma ferramenta que auxiliasse o projectista no dimensionamento de sistemas elevatórios de águas residuais com bombas centrífugas.

A elaboração do algoritmo para efectuar o dimensionamento hidráulico foi feita, essencialmente, com recurso à legislação em vigor (Decreto Regulamentar n.º 23/95, 1995) e a outra bibliografia da especialidade e ainda à experiência existente. Orientou-se o desenvolvimento deste trabalho focando as variáveis mais relevantes, no que concerne estações elevatórias de águas residuais:

- comprimento e diâmetro da conduta elevatória;
- as velocidades de escoamento;
- as características dos grupos elevatórios;
- a eficiência energética;
- a capacidade do poço de bombagem;
- posicionamento dos níveis de arranque e paragem dos grupos;
- tempo de retenção;
- a deterioração biológica;
- a necessidade de arejamento.

O presente estudo é limitado a duas restrições importantes:

- o **grupo electrobomba** só tem duas posições de funcionamento, ou **ligado ou desligado**, não sendo possível explorar as potencialidades de programar o funcionamento de apenas uma parte do grupo elevatório para períodos de menores afluências;
- o funcionamento do grupo electrobomba é em **velocidade constante**, apesar de as bombas de velocidade variável permitirem um melhor rendimento.

Um algoritmo que contemplasse os dois aspectos anteriores seria bastante mais complexo e, por isso, considerou-se numa primeira fase e por enquanto, não explorar outras possibilidades. No entanto, seria de grande interesse desenvolver esta opção.

Além do dimensionamento da conduta elevatória (incluindo uma avaliação expedita do fenómeno do choque hidráulico) e da determinação do volume da câmara de aspiração, este programa inclui um diagnóstico do nível de desempenho do sistema através de indicadores.

Procurou-se que a definição destes indicadores fosse a mais abrangente possível. Como é óbvio, quanto mais profunda fosse a análise, mais verosímil seria a previsão feita. Contudo, o factor tempo voltou a impor-se e, uma vez que esta temática dos indicadores ainda é relativamente recente e é alvo

de muitas discussões, definiram-se somente cinco indicadores, dos quais apenas um versa explicitamente aspectos económicos. Cumulativamente, não foi possível experimentar exaustivamente os resultados desta análise de desempenho com muitos dados reais, o que torna a razoabilidade dos indicadores escolhidos bastante discutível.

O programa foi por fim experimentado com alguns dados provenientes de uma estação elevatória em operação.

3

SISTEMAS ELEVATÓRIOS DE ÁGUAS RESIDUAIS COM BOMBAS CENTRÍFUGAS

É objectivo deste Capítulo expor as metodologias do dimensionamento hidráulico-sanitário dos sistemas elevatórios de águas residuais.

O Manual de Saneamento Básico (Patto, 1990) refere como elementos básicos de projecto necessários ao dimensionamento e implantação das estações elevatórias os seguintes:

- topografia do terreno;
- condições urbanísticas da zona e condições de acesso local;
- dados sobre a rede de energia eléctrica existente;
- dados sobre a rede de abastecimento de água;
- cota da superfície do terreno no local de implantação da estação;
- cota do nível da máxima cheia ou, simplesmente, do nível hídrico máximo, no caso de não haver linha de água na zona;
- cota de chegada da conduta da água residual afluente à estação;
- caudal médio afluente previsto no início de funcionamento e no horizonte do projecto;
- cota de descarga da conduta elevatória;
- perfil da conduta elevatória;
- material de fabrico e classe da conduta elevatória e tipo de juntas;
- tipo de água residual que se prevê venha a afluir à estação, nomeadamente no que se refere à qualidade e quantidade dos materiais em suspensão;
- estado de septicidade previsível para a água residual afluente à estação.

O projectista deve fazer um bom uso destes dados para encontrar uma solução eficiente, segura e económica. Seguem-se as principais orientações a seguir aquando da concepção de um projecto.

3.1. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

3.1.1. CONDUTA ELEVATÓRIA

3.1.1.1. Diâmetro mínimo regulamentar

O Art.º 175º do Decreto Regulamentar n.º 23/95 recomenda que o diâmetro da conduta elevatória seja no mínimo 100 mm, para evitar entupimentos (Patto, 1990).

3.1.1.2. Velocidades máximas e mínimas

A velocidade de escoamento tem de ser no mínimo de 0,7 m/s, de acordo com o Art.º 175º do Decreto Regulamentar n.º 23/95. Esta imposição prende-se com a necessidade de garantir auto-limpeza da conduta elevatória. No entanto, este Regulamento não define nenhum valor máximo.

O Manual de Saneamento Básico considera que a velocidade máxima aceitável é de 1,5 m/s, por factores de ordem económica (Patto, 1990), já que maiores velocidades implicam maiores perdas de carga e, além disso, o transporte de águas residuais é mais susceptível de causar abrasão das tubagens (pelos sólidos em suspensão). Contudo, este limite não é rígido e pode, em circunstâncias excepcionais e bem fundamentadas, ser ultrapassado. Também Galvão (2002) concorda com este limite, alegando que a partir de 1,5 m/s o serviço prestado pelo sistema é já classificado "inaceitável".

3.1.1.3. Inclinações regulamentares

O perfil da conduta elevatória deve ser preferencialmente ascendente e respeitar as inclinações mínimas indicadas no Art.º 133º do Decreto Regulamentar n.º 23/95: 0,3% nos troços ascendentes e 0,5% nos descendentes.

O mesmo artigo também define que, a partir de 15% de inclinação, se devem prever dispositivos especiais de ancoragem da conduta.

3.1.2. CAUDAL AFLUENTE

A análise que se faz dos caudais afluentes previstos vai influenciar de modo significativo todo o restante processo de dimensionamento, por isso é muito importante investir nesta averiguação.

É preciso extrapolar os caudais máximos e mínimos que afluirão à estação elevatória em causa, durante o período de vida útil considerado, para verificar as restrições regulamentares referentes a velocidades, diâmetros e inclinações e para mitigar possíveis problemas de septicidade.

É preciso contabilizar com algum rigor todos os tipos de caudais afluentes (v. Expressão (3.1)): não só as águas residuais domésticas, $Q_{AR,dom}$, e industriais, $Q_{AR,ind}$, mas também pluviais, Q_{AP}, caso o sistema seja unitário, e os caudais de infiltração, Q_{inf}, que são relativamente difíceis de determinar.

$$Q_{A,total} = \sum Q_{AR,dom} + \sum Q_{AR,ind} + Q_{AP} + \sum Q_{inf} \quad (3.1)$$

3.1.2.1. Caudais de Águas Residuais Domésticas

Os caudais de águas residuais dependem sobretudo da população afecta à zona de drenagem. Para efeitos de projecto, é preciso prever a evolução do crescimento dessa população e dos respectivos consumos até ao ano horizonte de projecto[4].

A metodologia de dimensionamento preconizada pelo Decreto Regulamentar n.º 23/95 consiste em inferir os caudais de águas residuais a partir do consumo "*per capita*" de água de abastecimento (capitações) afectados de um factor de afluência à rede, f_{ar}. Este factor tem como função descontar a água que é consumida mas que nunca chega à rede de drenagem. Depende de aspectos como os

[4] Geralmente, considera-se um horizonte de projecto de 40 anos para obras de construção civil e 20 anos para equipamentos electromecânicos.

hábitos de vida da população e a extensão de zonas verdes ajardinadas ou agrícolas, tomando valores entre 0,70 e 0,90 (Art.º 123º do Decreto Regulamentar n.º 23/95).

O modo de fixar este consumo "*per capita*" (designado por capitação), está definido no Art.º 13º, em função da população que usufruirá do sistema de drenagem:

Tabela 3.1 – Capitações relativas a consumos domésticos (DR n.º 23/95)

População	Capitação
até 1 000 hab.	80 l/hab/dia
de 1 000 a 10 000 hab.	100 l/hab/dia
de 10 000 a 20 000 hab.	125 l/hab/dia
de 20 000 a 50 000 hab.	150 l/hab/dia
acima de 50 000 hab.	175 l/hab/dia

O produto da capitação (afectada do factor de afluência à rede) pela população expectável no ano horizonte de projecto resulta no caudal médio de águas residuais previsto. Este valor deve ser majorado através de um factor de ponta instantâneo, f, definido no Art.º 125º do DR n.º 23/95, para atender às afluências máximas à rede. Este é o valor de cálculo a usar.

3.1.2.2. Caudais de Águas Residuais Industriais

A contabilização das afluências de esgotos industriais requer uma inventariação das unidades industriais abrangidas pela zona de drenagem, fazendo uma correcta caracterização físico-química, biológica, bacteriológica e de períodos de laboração das águas residuais em causa (Art.º 127º do Decreto Regulamentar n.º 23/95).

3.1.2.3. Caudais de Águas Pluviais

A determinação destes caudais requer um estudo baseado nas curvas IDF. Tal como a própria designação sugere, estas curvas estimam a **I**ntensidade média máxima de uma precipitação, I, com uma dada **D**uração, para um determinado período de retorno (**F**requência), em função da região pluviométrica onde se localiza o sistema em estudo – Art.º 128º e Anexo IX do Decreto Regulamentar n.º 23/95.

O coeficiente de escoamento, C, é dado pela razão entre a precipitação útil (a que efectivamente aflui à rede de drenagem) e a precipitação efectiva (a precipitação total que atinge a bacia, incluindo a que se perde por infiltrações e outras vias). Pode ser determinado pelo gráfico e pelas expressões analíticas sugeridas no Anexo X do Decreto Regulamentar n.º 23/95.

Através da fórmula racional (Expressão (3.2)), é possível extrapolar o caudal pluvial expectável em função das variáveis acima referidas e da área a drenar, A:

$$Q_{AP} = C \cdot I \cdot A \quad (3.2)$$

Não obstante, remanesce sempre a probabilidade de ocorrência de inundação, pelo que se deve proceder sempre a uma avaliação das possíveis consequências.

3.1.2.4. Caudais de Infiltração

Os caudais de infiltração, Q_{inf}, são caudais que provêm da água existente no solo e, portanto, dependem das características hidrogeológicas do solo e do estado de conservação do material dos colectores e respectivas juntas. Sugere o Art.º 126º do Decreto Regulamentar n.º 23/95 que, à falta de dados experimentais ou informações análogas sobre o local, se considere o caudal de infiltração como sendo proporcional ao comprimento, L, e diâmetro, Ø, dos colectores, conforme indicado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Indicações para cálculo do caudal de infiltração (adapt. DR 23/95)

Estado dos colectores	q_{inf}
Recentes ou a construir	0,5 m^3 / dia / Ø(cm) / L(km)
Construção e conservação precárias	4,0 m^3 / dia / Ø(cm) / L(km)

3.1.3. Caudal Bombado

O caudal a elevar deve corresponder ao somatório de todos os caudais que graviticamente afluem ao local de implantação da estação elevatória. Tendo em conta que o caudal é dado pelo produto da velocidade, U, pela secção da conduta, S (função do diâmetro, D) – v. Expressão (3.3) – é fácil compreender que, embora não seja explícito no Regulamento, há um caudal mínimo a respeitar.

$$Q = U \times S \Leftrightarrow Q = U \times \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (3.3)$$

Substituindo os valores da velocidade e do diâmetro mínimo nesta Expressão, chega-se ao caudal mínimo, $Q_{B,mín}$:

$$Q_{B,mín} = 0{,}7 \times \frac{\pi \cdot 0{,}1^2}{4} \Leftrightarrow Q = 0{,}055\ m^3/s = 5{,}5\ l/s \quad (3.4)$$

Fora esta limitação tácita do Regulamento, não há nenhuma regra definida para a escolha do caudal a bombar. A literatura da especialidade aponta, no entanto, mais ou menos num mesmo sentido: que o caudal bombado, Q_B, seja pelo menos superior ao caudal afluente, até um máximo de 20% a 50% (Galvão, 2002 e Tentúgal Valente, 1989) – v. Expressão (3.5).

$$Q_B =]1{,}0; 1{,}50] \cdot Q_A \quad (3.5)$$

3.1.4. Altura Manométrica

Para determinar a altura manométrica que a bomba tem de elevar, H_M, recorre-se à Equação de Bernoulli, que traduz o princípio de conservação da energia. Bernoulli defendeu que a energia do escoamento num ponto como é a soma dos três tipos de energia: a potencial de posição (dada pela cota z), a potencial de pressão (que depende da pressão absoluta naquele ponto, P) e a cinética (função da velocidade, U e da aceleração da gravidade, g) – v. Expressão (3.6). Para líquidos ideias incompressíveis, esta grandeza mantém-se constante.

$$H = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{U^2}{2 \cdot g} \quad (3.6)$$

No entanto, tratando-se de fluidos reais, o seu escoamento só se processa com gasto de energia (ou carga, como é habitualmente designada neste contexto). A Equação de Bernoulli preconiza que nestes casos é necessário contabilizar a perda de carga entre os dois pontos (v. Expressão (3.7)):

$$H_1 - H_2 = \Delta H_{1-2} = (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2 \cdot g} \quad (3.7)$$

A energia imprimida[5] pela bomba ao escoamento, H_M, entra então na equação conforme se mostra pela Expressão (3.8):

$$H_1 - H_2 = \Delta H_{1-2} - H_M \quad (3.8)$$

3.1.4.1. Perdas de Carga

A perda de carga total resulta do somatório de perdas de carga de dois tipos (v. Expressão (3.9)):

- contínuas (ou principais), ΔH_P;
- localizadas, ΔH_{Loc}.

$$\Delta H_{TOTAL} = \Delta H_P + \Delta H_{Loc} \quad (3.9)$$

Perdas de carga contínuas, ΔH_P

A resistência natural que o escoamento tem de vencer para se conseguir desenvolver cauda perdas de carga relativamente contínuas ao longo de todo o percurso. A quantificação da energia dispendida para percorrer uma extensão L pode por isso ser quantificada através de um gradiente: a perda de carga unitária, j (v. Expressão (3.10)).

$$\Delta H_P = j \times L \quad (3.10)$$

Para o cálculo da perda de carga unitária, é preconizada uma expressão proposta inicialmente por Henry Darcy mas refinada em 1845 por Julius Weisbach, sendo por isso hoje conhecida como a Fórmula de Darcy-Weisbach (Darcy-Weisbach equation - Wikipedia, 2008) – Expressão (3.11). Traduz a perda de carga unitária em função da aceleração da gravidade, g, da velocidade do escoamento, U, do diâmetro da conduta[6], D, e da resistência ao escoamento, traduzida pelo parâmetro adimensional λ.

$$j = \frac{\lambda}{D} \times \frac{U^2}{2 \cdot g} \quad (3.11)$$

Este λ designa-se por coeficiente de atrito ou de resistência e foi em 1939 que os investigadores Colebrook e White desenvolveram uma equação (v. Expressão (3.12)) que é até hoje normalmente aceite para o cálculo do referido coeficiente. É por isso conhecida como Fórmula de Colebrook-White (Nalluri & Featherstone, 2001).

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log\left[\frac{k}{3{,}7 \cdot D} + \frac{2{,}51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}}\right] \quad (3.12)$$

[5] Porque é energia "adicionada" ao escoamento, aparece como uma parcela a subtrair no segundo membro.
[6] Esta fórmula aplica-se a secções circulares. Para condutas com secções diferentes, a expressão tem de ser adaptada e escrita em função do raio hidráulico (quociente entre a secção molhada e o perímetro molhado).

Esta equação é função da rugosidade equivalente do material da conduta, k, do seu diâmetro, D, e do número de Reynolds, uma grandeza adimensional que traduz o regime do escoamento (laminar, turbulento liso, turbulento rugoso, ou regimes de transição). Este número é por sua vez dado pela Expressão (3.13), onde ν é o coeficiente de viscosidade cinemática do líquido.

$$\mathrm{Re} = \frac{U \cdot D}{\nu} \quad (3.13)$$

Apesar se considerar que a Fórmula de Colebrook-White é a que, até hoje, reporta resultados mais fiáveis do factor de atrito, o facto de ser uma equação implícita revela-se uma desvantagem na sua aplicação, pois exige o recurso a métodos iterativos.

Por isso, muito investigadores têm procurado definir este factor de atrito explicitamente. E verifica-se que alguns conseguiram encontrar equações explícitas relativamente simples e cujos resultados divergem muito pouco dos de Colebrook-White. Um deles foi Barr que, em 1845, descobriu uma equação simples – v. Expressão (3.14) – e com um erro máximo de apenas 0,04% (Nalluri & Featherstone, 2001):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log\left[\frac{k}{3{,}7 \cdot D} + \frac{5{,}1286}{\mathrm{Re}^{0{,}892}}\right] \quad (3.14)$$

Perdas de carga localizadas, ΔH_{Loc}

Pontualmente, o escoamento encontra singularidades que provocam perdas de carga adicionais, como curvas, válvulas, mudanças de secção, … No fundo, todos os pontos que induzam uma variação súbita das condições do escoamento provocam um gasto de energia além do normal. Estas perdas são geralmente caracterizadas por um coeficiente de perda de carga localizada, K_{Loc}, que quantifica a perda de carga como um valor proporcional à energia cinética do escoamento (v. Expressão (3.15)).

$$\Delta H_{Loc} = K_{Loc} \cdot \frac{U^2}{2 \cdot g} \quad (3.15)$$

Geralmente, considerando-se múltiplas singularidades na mesma conduta, define-se um coeficiente global, que resulta da soma de todos os coeficientes de perdas de carga localizadas no percurso (v. Expressão (3.16) e Figura 3.1).

$$K_{Loc} = \sum_i K_{Loc,i} \quad (3.16)$$

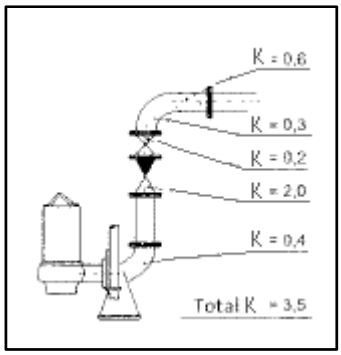


Figura 3.1 – Exemplo de Perdas de Carga na tubagem interna de uma Estação Elevatória: o somatório de todos os Coeficientes de Perdas de Carga, $K_{Loc,i}$, dá o Coeficiente de Perdas de Carga Global, K_{Loc} (adapt. Grundfos, 2005)

Estas perdas locais podem ser negligenciáveis face à dimensão das perdas de carga principais. Geralmente, numa fase de pré-dimensionamento, é habitual desprezar-se esta parcela dos cálculos.

3.1.4.2. Choque Hidráulico

Durante o arranque e a paragem das bombas ou quando ocorre uma obturação instantânea ou rápida (parcial ou total) do escoamento, são geradas ondas de pressão oscilantes no fluido que está a ser bombeado (Grundfos, 2005). Este fenómeno é designado de Golpe de Aríete ou Choque Hidráulico e pode ter consequências nocivas para o equipamento e o seu bom funcionamento.

O problema decorre da possibilidade de a linha de energia, com as variações de pressão, atingir valores tais que causem problemas de funcionamento do sistema.

Por exemplo, sobrepressões demasiado elevadas podem ultrapassar os limites de resistência mecânica do material e levar à rotura da conduta, com todos os inconvenientes óbvios associados. Por outro lado, se as subpressões atingirem valores inferiores aos da pressão atmosférica, provocam cavitação na conduta, um fenómeno hidráulico associado à formação e colapso de bolhas de vapor num líquido. Estas bolhas de vapor desgastam o revestimento da conduta, enfraquecendo por isso a sua estrutura. Além disso, ao provocarem um efeito de sucção, promovem a infiltração de águas do solo na conduta e podem até mesmo conduzir ao seu colapso por esmagamento (Betâmio de Almeida, 1990).

Numa análise preliminar, é suficiente fazer uma avaliação expedita dos efeitos do Choque Hidráulico. No entanto, tendo em conta a importância deste fenómeno, é essencial refazer os cálculos com mais precisão numa fase mais avançada do projecto (usando, por exemplo, ao Método das Características, um método numérico que exige o recurso a programas de cálculo automático).

Para a referida análise preliminar é recomendável seguir a metodologia indicada por Betâmio de Almeida (1990). Apresentam-se, de seguida, os parâmetros essenciais para o cálculo deste fenómeno em condutas elevatórias.

Quantificação dos Efeitos do Choque Hidráulico

A celeridade das ondas elásticas, *a*, é dada pela Expressão (3.17), onde:

- ρ é a massa volúmica do fluido e ε é o seu módulo de elasticidade;
- a espessura da conduta é dada por e, o seu diâmetro é D e E o módulo de elasticidade;
- C_1 é um coeficiente que depende das condições de ancoragem da conduta e do coeficiente de Poisson do seu material, n, tomando o valor (Nalluri & Featherstone, 2001):
  - 1, se a conduta estiver enterrada (situação mais comum);
  - $\left({}^{5}/_{4} - n\right)$, se a conduta estiver fixa na extremidade superior, sem juntas de expansão, mas livre de se mover longitudinalmente;
  - $(1 - n^2,)$ se for uma conduta sem juntas de expansão e ancorada longitudinalmente;
  - $\left(1 - {}^{n}/_{2}\right)$, se a conduta tiver juntas de expansão.

$$a = \sqrt{\frac{1}{\rho \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon} + \frac{C_1 \cdot D}{e \cdot E}\right)}} \qquad (3.17)$$

Para uma conduta de extensão L e com celeridade a, o tempo necessário para que a onda de pressão possa percorrer a conduta nos 2 sentidos é dado pela Expressão (3.18). Este parâmetro é designado de tempo de reflexão ou fase (Bentes, 1999).

$$\mu = \frac{2 \cdot L}{a} \quad (3.18)$$

Com estes dois parâmetros definidos, é possível calcular a variação máxima atingida com as oscilações da linha de energia, provocadas pelo Choque Hidráulico, ΔH_{CH}. Uma expressão bem conhecida e amplamente utilizada é a fórmula semi-empírica de Michaud (1878) – v. Expressão (3.19) – onde T representa o tempo de anulação do caudal inicial e U_0 corresponde à velocidade inicial do escoamento (Betâmio de Almeida, 1990).

$$\Delta H_{CH} = \begin{cases} \frac{a \cdot U_0}{g}, \text{se } T < \mu \\ \frac{a \cdot U_0}{g} \cdot \frac{\mu}{T}, \text{se } T > \mu \end{cases} \quad (3.19)$$

O facto de T ser superior ou inferior a μ indica o tipo de manobra que provocou o fenómeno de Choque Hidráulico em análise. Se:

- $T > \mu$, estamos perante uma manobra lenta e a envolvente de pressões variará de forma linear, desde um mínimo de zero a jusante até um máximo a montante;
- $T < \mu$, estamos perante uma manobra rápida, em que a variação linear da envolvente encontra o seu máximo algures a meio da conduta (a uma distância T·a/2 do ponto mais a jusante) e a partir daí o diagrama é constante nas sobrepressões e paralelo à linha de energia nas subpressões;
- $T = 0$, a manobra é instantânea e o diagrama da envolvente de pressões é constante nas sobrepressões e paralelo à linha de energia nas subpressões.

Em qualquer caso, a determinação dos extremos da envolvente de pressões a montante, é feito da mesma forma:

- o valor máximo é dado por $\Delta z + \Delta H_{CH}$;
- o valor mínimo é dado por $2 \cdot \Delta z + \Delta H_{CH} - H_M$

Há diferentes maneiras de calcular o tempo de anulação do caudal: refere-se de seguida o Método de Mendiluce Rosich (Betâmio de Almeida, 1990).

Este método não requer a caracterização explícita da inércia dos grupos, o que o torna fácil de aplicar. Conforme se pode constatar pela análise da Expressão (3.20), o tempo de anulação do caudal de Rosich depende de um coeficiente C_i, que é um parâmetro experimental relacionado com a inclinação da conduta, i, e de outro coeficiente K_i, também experimental, que procura traduzir adimensionalmente a influência da inércia dos grupos através da extensão da conduta elevatória.

$$T = C_i + K_i \cdot \frac{L \cdot U_0}{g \cdot H_M} \quad (3.20)$$

Os valores destes coeficientes estão tabelados (v. Tabela 3.3 e Tabela 3.4) e podem ser extrapolados para valores foram dos intervalos predefinidos.

Tabela 3.3 – Coeficiente de inclinação da conduta. (Betâmio de Almeida, 1990)

C_i [s]	i
1,0	< 0,20
0,8	0,25
0,6	0,30
0,4	0,35
0	> 0,40

Tabela 3.4 – Coeficiente de inércia do grupo. (Betâmio de Almeida, 1990)

K_i	L [m]
2,00	< 500
1,75	≈ 500
1,50	< 1 500
1,25	≈ 1 500
1,00	> 1 500

Protecção contra Choque Hidráulico

A filosofia básica da protecção contra os efeitos do Choque Hidráulico consiste em controlar as variações de caudal nas secções críticas ou onde se originam as perturbações (Betâmio de Almeida, 1990). Consoante o problema principal decorrente seja as subpressões ou as sobrepressões (ou até ambas), é preciso determinar uma medida de protecção ajustada.

O controlo directo da variação do caudal só é viável se o Choque Hidráulico for consequência de manobras de válvulas. Nos restantes casos, a solução passa pela instalação de dispositivos de protecção. Os mais comuns são os reservatórios de ar comprimido, RAC, e os volantes de inércia (Betâmio de Almeida, 1990). Os RAC permitem atenuar as variações bruscas de caudal e de pressão, cedendo e armazenando energia e água em reservatórios fechados, contendo ar ou gás. Os volantes de inércia permitem a acumulação e o aumento da inércia das massas girantes dos grupos electrobomba, prolongando assim o tempo de anulação do caudal.

Para além dos citados, existem outros sistemas de protecção e não há nenhuma regra para seleccionar o melhor dispositivo para cada caso. É preciso escolher mediante as características hidráulicas e topográficas da instalação em estudo, ponderando as vantagens e desvantagens económicas e logísticas de cada caso.

3.1.5. Câmara de Aspiração

Este é um órgão muito importante do sistema. O seu dimensionamento (determinação do volume útil) deve ser adequado, de forma a minimizar as probabilidades de ocorrência de problemas no futuro. Os parâmetros base para este dimensionamento são (Tentúgal Valente, 1989):

- os caudais afluentes;
- o tempo de retenção de caudais na câmara de aspiração e na conduta elevatória;
- o caudal de elevação.

Há portanto uma série de parâmetros importantes a ter em conta, que são (Tentúgal Valente, 1989):

- o tempo de enchimento da câmara de aspiração, t_1 (Expressão (3.21)):

$$t_1 = \frac{V}{Q_A} \qquad (3.21)$$

- o tempo de funcionamento da bomba, t_2 (Expressão (3.22)):

$$t_2 = \frac{V}{Q_B - Q_A} = Q_A \cdot \frac{t_1}{Q_B - Q_A} \qquad (3.22)$$

- o número de arranques, por unidade de tempo, Z (Expressão (3.23)):

$$Z = \frac{1}{t_1 + t_2} = \frac{Q_A \cdot Q_B - Q_A^2}{Q_B \cdot V} \qquad (3.23)$$

- o tempo que a partícula se encontra parada na conduta, t_3 (Expressão (3.24)):

$$t_3 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4 \cdot Q_B} \qquad (3.24)$$

- o número de ciclos, ω (Expressão (3.25)):

$$\omega = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{L}{Q_B \cdot t_2} \qquad (3.25)$$

- o tempo que a partícula se encontra parada na conduta, t_4 (Expressão (3.26)):

$$t_4 = [1 + \mathrm{Int}(\omega)] \cdot t_1 \qquad (3.26)$$

- o tempo de retenção na conduta, t_c (Expressão (3.27)):

$$t_c = t_3 + t_4 \qquad (3.27)$$

Estimou-se um volume da câmara de aspiração tal que permitisse que se cumprissem os seguintes critérios:

- tempo máximo de retenção do esgoto, $t_3 + t_4 + t_1$ de 2 horas;
- tempo de funcionamento da bomba, t_2, superior a 60 s.
- tempo de repouso dos grupos, t_2, superior a 180 s.

Apesar destas restrições, quem projecta tem de ter sempre sensibilidade para admitir valores razoáveis noutras variáveis, como o tempo de enchimento da câmara (que não deve ser demasiado breve) ou o número de arranques da bomba por hora. Este último costuma ser tabelado pelo fabricante da bomba, mas no geral aceitam-se os valores da Tabela 3.5, conforme a potência do grupo.

Tabela 3.5 – Número máximo de arranques por hora recomendado para bombas submersíveis, de acordo com a potência, (adpt. Grundfos, 2005).

Potência [kW]	N.º máximo de arranques por hora
P < 5	25
5 < P < 20	20
20 < P < 100	15
P > 100	10

3.1.5.1. Regulação de níveis

É preciso distinguir o volume útil do volume total da câmara de aspiração.

Devido à possibilidade de ocorrerem vórtices e regolfo no colector afluente, o volume total da câmara deverá ser sempre superior ao volume útil (Galvão, 2002). Quão maior, depende das circunstâncias de implantação do sistema. O nível mínimo no poço não pode ser tal que permita que o grupo fique emerso; por outro lado, o nível máximo tem de estar razoavelmente desnivelado do colector afluente (cerca de 20 cm abaixo da geratriz inferior deste costuma ser suficiente, mas depende da área da câmara).

3.1.5.2. NPSH

NPSH é o acrónimo do termo inglês *Net Positive Suction Head* (Grundfos, 2005) e representa a diferença entre a pressão estática absoluta e a tensão de vapor do líquido (normalmente expressa em metros). O cálculo do NPSH é baseado na aplicação do Teorema de Bernoulli entre a superfície livre do líquido, A, e a secção de entrada na bomba, S (v. Expressão (3.28)):

$$\left(z+\frac{P}{\gamma}+\frac{U^2}{2\cdot g}\right)_A-\left(z+\frac{P}{\gamma}+\frac{U^2}{2\cdot g}\right)_S=\Delta H \qquad (3.28)$$

A pressão à entrada da bomba tem que ser tal que, subtraída do valor do NPSH requerido pela bomba (que vem referido nos catálogos), não dê um valor inferior à pressão mínima que, dentro da bomba, provoca cavitação[7]:

$$\left(\frac{P}{\gamma}\right)_S \geq P_{mín}+NPSH_{req} \qquad (3.29)$$

$$\Delta z+\left(\frac{P}{\gamma}\right)_A-\frac{U^2}{2\cdot g}-\Delta H-P_{S,mín}=NPSH_{disp} \qquad (3.30)$$

Geralmente, considera-se que esta pressão mínima é igual à tensão de saturação de vapor do líquido.

O valor de NPSH requerido conhece-se através da consulta do catálogo do fabricante da bomba, procurando o ponto de funcionamento[8] do sistema em estudo nos diagramas.

Como se compreende, este é um problema que só surge quando o eixo da bomba está acima do nível da água a aspirar. Assim sendo, uma vez que o este trabalho visa estudar o funcionamento estações elevatórias com bombas centrífugas **submersíveis**, este problema não se coloca.

3.2. CONTROLO DA SEPTICIDADE

O transporte águas residuais tem o grande inconveniente da septicidade do esgoto, processo inevitável que consiste em alterações físicas, químicas e biológicas que as águas residuais sofrem. A alteração da qualidade das águas reflecte-se principalmente na variação do potencial de oxidação-redução, das concentrações de oxigénio dissolvido, do ião sulfato e dos sulfuretos, da carência bioquímica de oxigénio e do pH. Um dos compostos mais importantes neste processo é o ácido sulfídrico, H_2S. A relevância deste composto na problemática sanitária deve-se, principalmente, à manifestação dos seguintes efeitos (Ribeiro de Sousa & Saldanha Matos, 1990):

- "odor, intenso e desagradável, mesmo quando presente em pequenas concentrações";
- corrosão dos órgãos do sistema;
- "produção, em determinadas circunstâncias, de ambientes letais ou explosivos na atmosfera dos colectores e espaços vizinhos confinados".

Por isso, a ventilação em sistemas de drenagem de águas residuais deve ser promovida de forma a manter atmosferas respiráveis nas câmaras de visita e nos colectores e também reduzir os riscos de desenvolvimento de atmosferas tóxicas ou explosivas. Por vezes, recorre-se a ventilação forçada, mas também pode ser possível garantir a ventilação dos sistemas de drenagem municipais através da ligação aos ramais de ventilação domiciliários.

---

[7] O fenómeno da cativação é explicado no Subcapítulo 3.1.4.2.
[8] Par de coordenadas caudal bombado vs. altura manométrica.

Em escoamentos sob pressão, a produção de H_2S é ainda mais preocupante pois, uma vez que não há arejamento, as consequências fazem-se sentir "a jusante e não na própria conduta, sendo necessário garantir que a entrada do escoamento no troço gravítico se faça em condições de mínima turbulência" (Art.º 145º do Decreto Regulamentar n.º 23/95). Além disso, "se a estação elevatória for alimentada por outra estação elevatória remota, o tempo de transferência dos esgotos entre estações poderá ser tão grande que estes se tornam sépticos apenas por acção anaeróbia" (Grundfos, 2005)

Para além do gás sulfídrico, podem ocorrer outros compostos, "como alguns mercaptanos, susceptíveis de provocar odor desagradável". Contudo, as medidas preventivas e correctivas destinadas a mitigar a geração e os efeitos do gás sulfídrico "também inibem e evitam a produção e efeitos de outros compostos odoríferos" (Ribeiro de Sousa & Saldanha Matos, 1990).

Indicam-se, na Tabela 3.6, alguns procedimentos a adoptar para atenuar os efeitos de septicidade, de acordo com a sua natureza.

Tabela 3.6 – Medidas de controlo da septicidade em condutas elevatórias de águas residuais (Ribeiro de Sousa & Saldanha Matos, 1990 e Grundfos, 2005).

Natureza do Procedimento	Descrição e Justificação do Procedimento
Química	Injecção ou adição de ar, oxigénio puro e certos agentes químicos (como cloro, permanganato de potássio e peróxido de hidrogénio à massa líquida: estes compostos actuam, por um lado, oxidando os sulfuretos dissolvidos e, por outro, inibindo a actividade das bactérias anaeróbias redutoras do ião sulfato.
	Adição de nitratos (como o de sódio) à massa líquida: os nitratos, na ausência de oxigénio livre, oxidam os sulfuretos dissolvidos mas não inibem a actividade das bactérias redutoras do ião sulfato.
	Adição de determinados tipos de reagentes metálicos, como compostos de cobre, de zinco e de ferro, que entram em reacção com os sulfuretos, originando compostos insolúveis em água, que precipitam.
	Adição de bases fortes que inibem a actividade das bactérias anaeróbias redutoras do ião sulfato.
Mecânica	Operações regulares (e de carácter preventivo) de limpeza e lavagem levadas a cabo por dispositivos específicos, para evitar obstruções parciais/totais.
	Garantir o escoamento de caudais adequados e a velocidade e declives razoáveis, para garantir alguma auto-limpeza (além disso, o aumento da turbulência fomenta as trocas de oxigénio na interface ar-massa líquida).
	Reduzir os níveis de arranque e paragem, para reduzir o tempo de retenção na câmara e impedir a formação de lamas.
	Instalar uma curva de entrada submersa na câmara de aspiração, para que os esgotos afluentes ficarem abaixo da superfície, impedindo a formação de aerossóis.
	Instalar filtros de ar nos ventiladores da câmara de aspiração.

4

CONCEPÇÃO DO ALGORITMO

O software usado para a modelação foi o Microsoft® Office Excel 2003 (a partir de aqui apenas referido como Excel).

O Excel é um programa fácil de utilizar e muito eficaz. Quando aliado ao Microsoft® Visual Basic for Applications (designado pela sigla VBA), uma aplicação que permite controlar as actividades no Excel através de linguagem de programação, as potencialidades do Excel aumentam bastante.

4.1. ARQUITECTURA DO PROGRAMA

O Programa estrutura-se em 5 partes fundamentais:

- Introdução;
- Base de Dados;
- Conduta Elevatória;
- Câmara de Aspiração;
- Análise de Desempenho.

4.1.1. INTRODUÇÃO

Na Introdução expõem-se os objectivos do programa e as linhas gerais de uso. É muito útil para o utilizador se orientar e descobrir como resolver eventuais problemas com a configuração do Excel (seleccionando a página dos Requisitos, assinalada no texto).

4.1.1.1. Requisitos para o Bom Funcionamento do Programa

Para o correcto funcionamento do programa desenvolvido é necessário configurar certas opções do Excel. Estes aspectos são apresentados logo na primeira folha em que abre o programa, para evitar que um novo utilizador fique "encravado" noutra página qualquer sem saber como resolver os problemas de configuração.

Estas instruções destinam-se a utilizadores do **Excel 2003**. No Excel 2007 os passos a seguir são ligeiramente diferentes, devido à mudança de *layout*, e verificaram-se incompatibilidades com a execução de algumas macros.

Uma vez que o programa executa macros de programação, o Nível de **Segurança de Macros** do Excel deve estar configurado de forma a aceitar a sua execução:

- Se a segurança estiver definida como **Baixa (*Low*)**, o programa abre e as macros são executadas sem problemas.
- Se a segurança estiver definida como Média (*Medium*), o Excel pergunta se o utilizador quer executar as macros ao abrir o ficheiro. Este deve responder que sim para que o programa seja executado sem problemas.
- Se a segurança estiver definida como Alta (*High*) ou Muito Alta (*Very High*), as macros são desactivadas e o programa não pode ser executado convenientemente. Neste caso, o utilizador deve fechar o ficheiro e mudar a segurança das macros:
  - No menu Ferramentas (*Tools*), clica em Macro > Segurança (*Security*).
  - Na janela que abre, no separador Nível de segurança (*Macro security*), muda para Baixa ou Média.
  - E poderá então voltar a abrir o ficheiro.

O **Solver** é uma ferramenta suplementar do Excel que pode ser utilizada para resolver problemas de optimização lineares e não-lineares.

No entanto, só fica disponível mediante uma activação. É preciso verificar se se encontra o Solver no menu Ferramentas (*Tools*). Se não o encontrar, é porque necessita de ser activado e então tem de se seguir os seguintes passos:

- No menu Ferramentas (*Tools*), clicar em Suplementos (*Add-Ins*).
- Na caixa Suplementos disponíveis (*Add-Ins available*), seleccionar o Suplemento Solver (*Add-In Solver*) e, em seguida, clicar em OK. Se o Suplemento Solver não surgir na lista, clicar em Procurar (*Browse*) para o localizar.
- Se surgir uma mensagem que diga que o Suplemento Solver não está actualmente instalado no computador, clicar em Sim (*Yes*) para o instalar.
- Uma vez instalado o Suplemento Solver, o comando Solver é adicionado ao menu Ferramentas.

Outro Suplemento, que deve ser adicionado de forma idêntica, é o **Anaysis Toolpack – VBA**.

Como o Solver funciona através do VBA, é também necessário activá-lo no Editor do Visual Basic. Caso surja uma mensagem *"Compile error"* ao iniciar o Programa, sugere-se que se sigam os seguintes passos, que funcionam como um artifício para contornar este erro, fazendo com que o Solver fique activo no VBA nas próximas vezes que utilizar o Programa:

- O ficheiro do programa deve ser **fechado**;
- Depois, deve-se abrir um novo documento, em branco, onde é necessário abrir e fechar a janela do Solver **pelo menos uma vez** (sem executar qualquer operação);
- Seguidamente, pode-se fechar essa folha em branco (sem gravar), mas o **Excel** em si **deve ser mantido aberto**;
- Abrindo-se o ficheiro do programa e **guardando-o** logo de seguida, o Solver ficará activo no VBA nas próximas sessões de utilização (nesse computador), dispensando a repetição destes passos.

4.1.1.2. Relatório de Cálculo

A Introdução inclui a opção de impressão de um relatório de duas páginas que resume os resultados obtidos. O utilizador pode assim manter registos das simulações que fizer e analisá-los de uma forma muito mais prática, já que a informação está condensada num mesmo sítio.

Além disso, antes de proceder à impressão propriamente dita, o Programa pergunta qual a identificação do Projecto em causa. Deste modo, todos os Relatórios ficam devidamente identificados com uma designação escolhida pelo utilizador, além da data e hora da impressão que surgem em rodapé.

No Anexo A 1 apresenta-se um exemplo de um Relatório de Cálculo.

4.1.2. Base de Dados

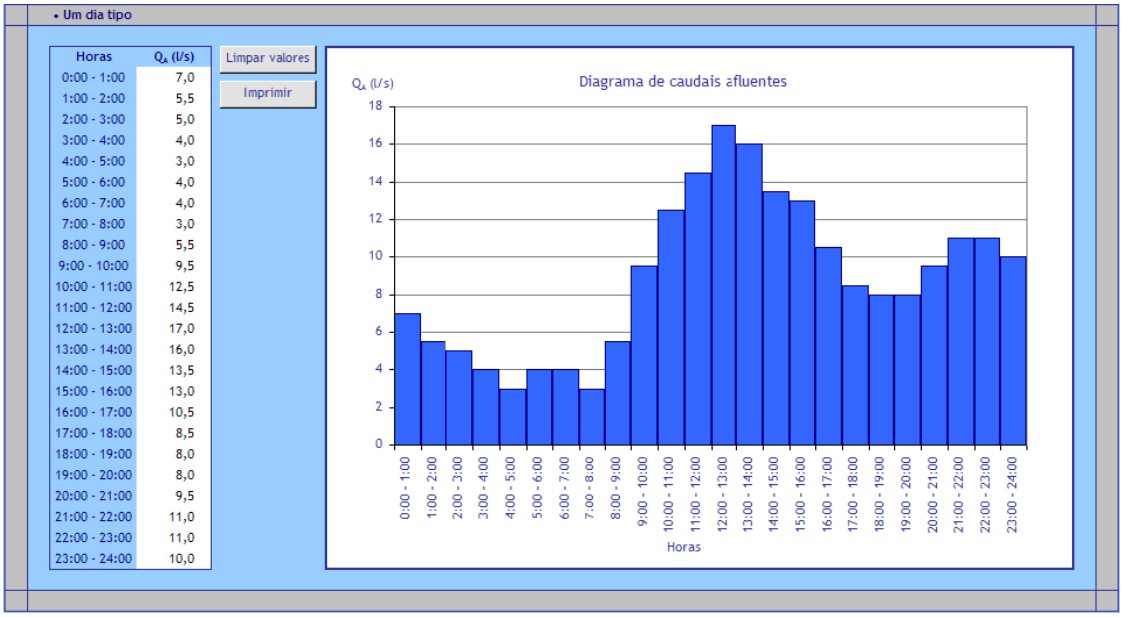
A Base de Dados armazena as informações relativas à Conduta Elevatória – diâmetros e características dos materiais (módulo de elasticidade, E, e rugosidade relativa, k) – e ao Tarifário da Energia Eléctrica. Antes de se encetar o cálculo, é necessário conferir se as informações contidas nessa Base de Dados estão correctas.

Em todo o caso, há informações predefinidas guardadas no programa e que podem a qualquer altura ser restauradas (v. Anexo A 2).

4.1.3. Conduta Elevatória

A parte Conduta Elevatória inclui o seu dimensionamento expedito, incluindo uma análise simplificada dos efeitos do Choque Hidráulico.

O Programa inclui a possibilidade de definir o Diagrama de Caudais Afluentes (v. Figura 4.1), através do qual vai determinar o caudal de cálculo. Permite guardar até 4 diagramas diferentes. Alternativamente, o dimensionamento pode ser feito com base num valor de cálculo do caudal afluente introduzido directamente pelo utilizador.



Horas	Q_A (l/s)
0:00 - 1:00	7,0
1:00 - 2:00	5,5
2:00 - 3:00	5,0
3:00 - 4:00	4,0
4:00 - 5:00	3,0
5:00 - 6:00	4,0
6:00 - 7:00	4,0
7:00 - 8:00	3,0
8:00 - 9:00	5,5
9:00 - 10:00	9,5
10:00 - 11:00	12,5
11:00 - 12:00	14,5
12:00 - 13:00	17,0
13:00 - 14:00	16,0
14:00 - 15:00	13,5
15:00 - 16:00	13,0
16:00 - 17:00	10,5
17:00 - 18:00	8,5
18:00 - 19:00	8,0
19:00 - 20:00	8,0
20:00 - 21:00	9,5
21:00 - 22:00	11,0
22:00 - 23:00	11,0
23:00 - 24:00	10,0

Figura 4.1 – Diagrama de Caudais Afluentes para definir o Caudal de Cálculo

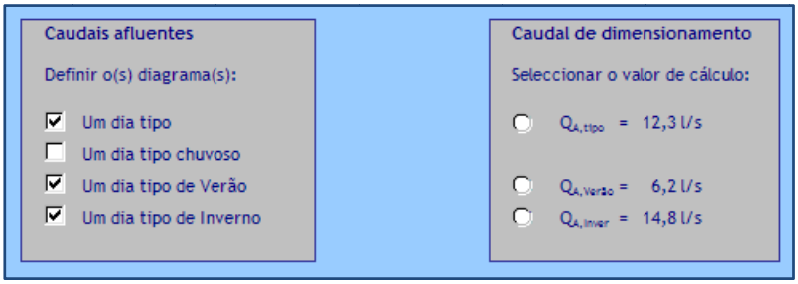


Figura 4.2 – Possibilidade de definir até 4 Diagramas Diários de Caudais Alfuentes Horários

Observando a Figura 4.2, percebe-se que só os diagramas que estejam definidos (coluna da esquerda) é que ficam activos na selecção do valor de cálculo (coluna da direita).

4.1.4. Câmara de Aspiração

O dimensionamento do Volume Útil da Câmara de Aspiração é realizado com recurso ao suplemento Solver, respeitando um conjunto de restrições técnicas que se encontram visivelmente indicadas. Há certas restrições que são essenciais para o bom funcionamento do sistema, mas há outras que podem ser contornadas com recurso a medidas extra. Se a solução encontrada pelo Solver não respeitar alguma destas restrições, surge uma mensagem a descrever as medidas extra que se devem tomar.

4.1.5. Análise de Desempenho

O Programa c com uma Análise do Desempenho do Sistema Elevatório baseada em cinco Indicadores. A cada Indicador é atribuído um Índice de 1 a 5 e o Índice de Desempenho Global resulta de uma média ponderada destes valores, com pesos definidos pelo utilizador. Quanto mais alto for o Índice, melhor será o funcionamento do sistema, em princípio.

4.2. Variáveis do Programa

4.2.1. Caudais

4.2.1.1. Caudal Afluente

A primeira variável a considerar será o caudal afluente, Q_A. Optou-se por prever dois cenários possíveis de inserção deste dado:

- ou o utilizador conhece o diagrama de caudais afluentes diário e define-o, deixando o programa determinar um valor de cálculo a partir daí (v. Figura 4.3);
- ou então pode inserir directamente o valor de cálculo a utilizar (v. Figura 4.4).

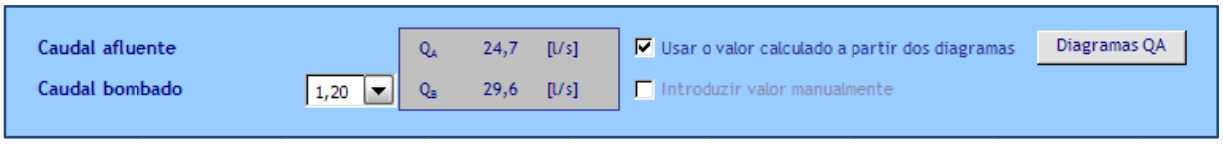


Figura 4.3 – Caudal Afluente de Cálculo:
selecção da opção para calcular o valor automaticamente a partir dos diagramas

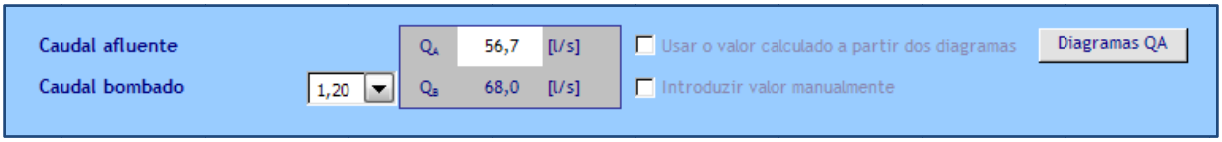


Figura 4.4 – Caudal Afluente de Cálculo: nestas circunstâncias, o utilizador introduz o valor manualmente

A primeira opção será a mais vantajosa, uma vez que terá um impacto mais realista no final, aquando da Análise do Desempenho do Sistema. Assim consegue-se alargar as possibilidades de simulação para o mesmo sistema elevatório, observando o grau de sub e sobredimensionamento que uma dada solução pode produzir relativamente aos diagramas mais extremos (por exemplo, o do dia chuvoso e o do dia de Verão).

Todavia, não é obrigatório que os diagramas sejam utilizados desta maneira. O procedimento de cálculo é sempre independente pelo que os quatro diagramas podem também ser encarados como quatro sistemas elevatórios completamente distintos.

A maior desvantagem desta opção será a de não dar liberdade ao utilizador de escolher o modo de calcular o caudal afluente de cálculo. Conforme foi referido no Subcapítulo 3.1.2, não há um consenso sobre a forma de calcular o caudal afluente de projecto. Por isso, começou-se por considerar que este valor corresponderia uma média aritmética dos valores do diagrama (v. Expressão (4.1)).

$$Q_A = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^{m} Q_{A,i} \quad , \quad m = 24 \qquad (4.1)$$

Contudo, ao efectuar as simulações, constatou-se que esta expressão não seria a mais adequada, levando a frequentes subdimensionamentos, sobretudo nos casos em que os diagramas eram mais irregulares.

Nos casos em que os diagramas eram relativamente constantes ao longo do dia (característico de grandes aglomerados urbanos), a média de todos os valores não diferia significativamente do valor de pico. Deste modo, o valor de dimensionamento era relativamente conservativo, conduzindo a resultados geralmente aceitáveis. Pelo contrário, se os diagramas apresentassem grandes discrepâncias entre valores máximos e mínimos (situação típica de pequenos aglomerados), a média não se iria aproximar dos valores de pico, conduzindo a resultados notoriamente insuficientes.

Assim sendo, houve necessidade de proceder a vários ajustes até que se concluiu que uma razoável forma de calcular o caudal afluente de cálculo seria uma média ponderada de metade dos valores mais altos. A ponderação desta média atribui um peso de 50% ao valor máximo, sendo os restantes 50% distribuídos equitativamente entre os 6 valores mais altos que se seguirem[9].

Esta foi a opção seleccionada para este algoritmo. No então, é também usual considerar-se o caudal de ponta (solução mais conservativa).

4.2.1.2. Caudal Bombado

O caudal bombado pode ser calculado automaticamente a partir do caudal afluente (v. Figura 4.5) ou então pode ser livremente definido pelo utilizador (v. Figura 4.6).

[9] N.B.: O programa considera o valor arredondado a 2 casas decimais.

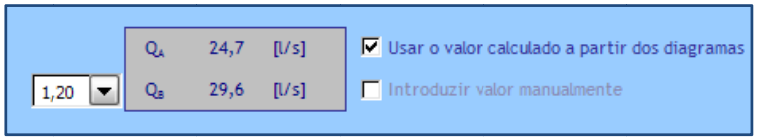


Figura 4.5 – Caudal Bombado: produto do Caudal Afluente por um Coeficiente entre 1,05 e 1,50 (neste caso, $Q_B = 1{,}20 \times Q_A$)

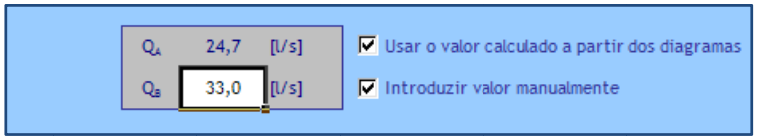


Figura 4.6 – Caudal Bombado: valor ao critério do utilizador

Em qualquer um dos casos, impõem-se duas restrições: que o caudal bombado seja pelo menos igual ao afluente, $Q_B \geq Q_A$ (para evitar que as descargas de excedentes sejam frequentes – ineficácia do sistema), e que seja superior ao mínimo Regulamentar, $Q_B \geq 5{,}5$ l/s (v. Subcapítulo 3.1.3).

De acordo com o recomendado pela bibliografia da especialidade, decidiu-se que o programa calcularia Q_B através da Expressão (3.5). Dividiu-se o intervalo de coeficientes equitativamente para obter seis coeficientes. Mas como o caudal bombado tem de ser pelo menos superior ao caudal afluente, optou-se por considerar o coeficiente mais baixo 1,05 em vez de 1, conforme se pode constatar pela Figura 4.7.

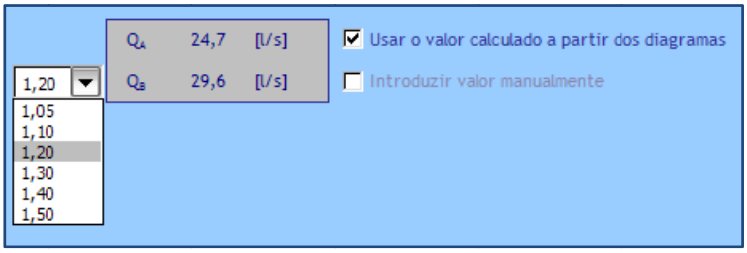


Figura 4.7 – Coeficientes de Multiplicação de Q_B por Q_A

No caso de o utilizador não estar interessar num destes valores, tem sempre a possibilidade de inserir o valor que bem entender manualmente, se seleccionar a respectiva opção (v. Figura 4.9).

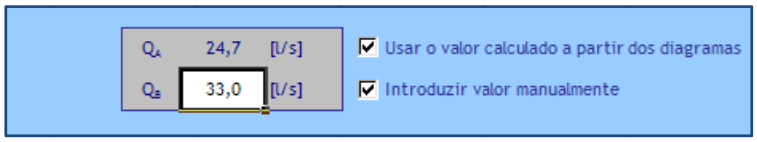


Figura 4.8 – Valor de Q_B definido pelo utilizador

4.2.2. Conduta Elevatória

4.2.2.1. Diâmetro

De acordo com a bibliografia consulta e com as imposições do Decreto Regulamentar n.º 23/95, (v. Subcapítulo 3.1.1), o melhor desempenho de um sistema elevatório está associado a uma velocidade entre 0,7 m/s e 1,2 m/s. Então, no sentido de determinar o diâmetro da conduta elevatória, optou-se por fazer um pré-dimensionamento assumindo uma velocidade de 1 m/s (v. Figura 4.9).

Figura 4.9 – Pré-Dimensionamento do Diâmetro da Conduta Elevatória

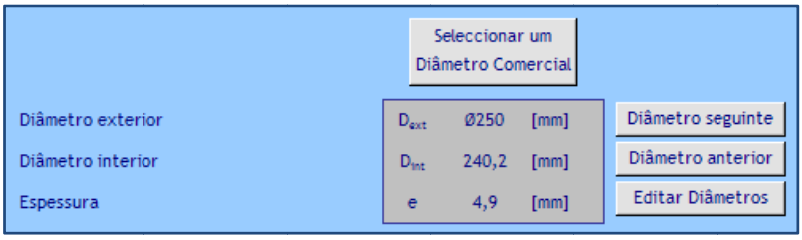


Figura 4.10 – Selecção do Diâmetro Comercial,
a partir do resultado do Pré-Dimensionamento

Quando se carrega no botão "Seleccionar um Diâmetro Comercial", o programa procura, na base de dados, o menor diâmetro interior comercial que é superior ao teórico calculado (v. Figura 4.10).

Como o algoritmo está programado para procurar verticalmente, de cima para baixo, é necessário ter a Base de Dados ordenada do menor para o maior. Prevendo eventuais esquecimentos do utilizador, o programa pergunta sempre se a base de dados está ordenada antes de prosseguir para o pré-dimensionamento.

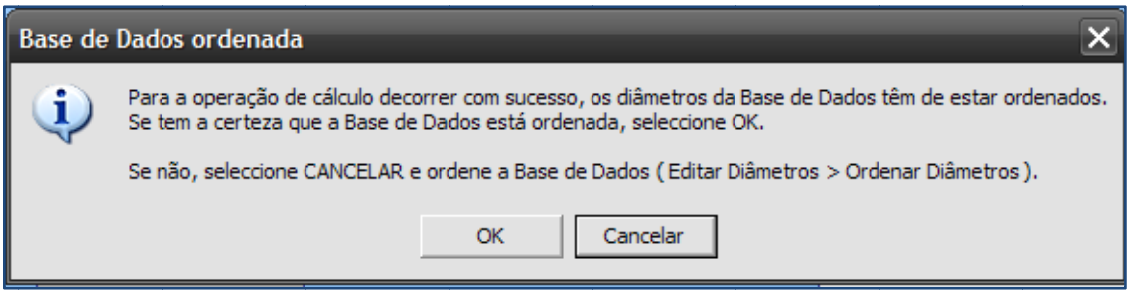


Figura 4.11 – Ao pedir para seleccionar um Diâmetro Comercial,
surge uma Mensagem com instruções para ordenar a Base de Dados

Os botões que se encontram ao lado do resultado servem para que o utilizador experimente livremente outros diâmetros que existam na Base de Dados.

4.2.2.2. Velocidade de escoamento

Estipulou-se que o limite máximo da velocidade de escoamento na conduta elevatória seria de 1,4 m/s (v. Sucapítulo 3.1.1.2). Para um mesmo caudal bombado, diferentes diâmetros conduzem a diferentes velocidades. Por isso, cada vez que este parâmetros ultrapassa o limite mínimo ou o máximo, surge uma mensagem a alertar o utilizador (v. Figura 4.12). Independentemente disto, o utilizador é sempre livre de seleccionar o diâmetro que quer e o prosseguimento do cálculo não é interrompido.

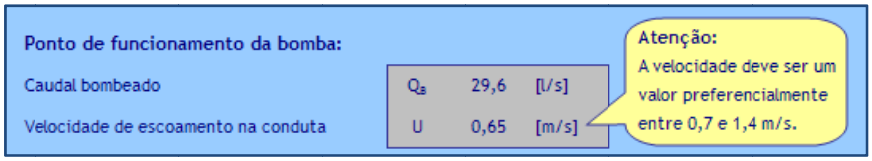


Figura 4.12 – Aviso que surge quando a Velocidade do Escoamento está fora dos limites.

4.2.2.3. Características do Material

O material escolhido para a conduta elevatória também tem influência no seu dimensionamento. Por isso, é necessário inserir na Base de Dados duas características que o cálculo requer: a rugosidade equivalente, k, e o módulo de elasticidade, E (v. Figura 4.13). Conforme o material seleccionado na lista pendente da folha da Conduta Elevatória (v. Figura 4.14), as respectivas características serão usadas para o cálculo das perdas de carga.

Materiais

N.º	Designação	E [MPa]	k [mm]
1	Ferro Fundido Dúctil	170 000	0,1
2	PEAD PE-100	1 400	0,001
3	PEAD PE-80	900	0,001
4	PP corrugado	1 250	0,1
5	PVC	3 000	0,01

Acrescentar Materiais
Eliminar primeira linha
Eliminar uma linha específica
Eliminar TODOS Materiais
Ordenar alfabeticamente
Materiais predefinidos

Figura 4.13 – Base de Dados relativos aos Materiais

Material da conduta elevatória
Ferro Fundido Dúctil
PEAD PE-100
PEAD PE-80
Editar Materiais

Figura 4.14 – Lista pendente para seleccionar os Materiais.

4.2.3. Características do Terreno, da Instalação e do Esgoto

Como é óbvio, tratando-se de uma estação elevatória, é indispensável conhecer o desnível geométrico, Δz, e a extensão, L. Há igualmente uma série de características do esgoto que são necessárias para o cálculo das perdas de carga e dos efeitos do fenómeno do choque hidráulico: o coeficiente de viscosidade cinemática, ν, o módulo de elasticidade do fluido, ε, e a massa volúmica, ρ. Além disso, a análise do choque hidráulico, acaba requerer também que se indique a inclinação da conduta, i, e que se traduzam as condições de ancoragem da conduta através do coeficiente C_1.

Todos estes valores são inseridos directamente pelo utilizador (v. Figura 4.15).

Desnível geométrico	Δz	10,00	[m]
Extensão da conduta elevatória	L	256,70	[m]
Viscosidade cinemática do esgoto	ν	1,01	[mm²/s]
Análise do Choque Hidráulico:			
Inclinação da conduta elevatória	i	4,0	[%]
Extensão da conduta elevatória	L	256,70	[m]
Módulo de elasticidade do material	E	1 400	[MPa]
Módulo de elasticidade do esgoto	ε	2 030	[MPa]
Massa volúmica do esgoto	ρ	1 100	[kg/m³]
Coeficiente de ancoragem da conduta	C_1	1	

Figura 4.15 – Introdução dos dados relativos às características do terreno, da instalação e do esgoto

4.2.3.1. Valores restaurados por defeito

Carregando no botão "Restaurar valores predefinidos" que surge no topo da folha de cálculo "Conduta Elevatória", são atribuídos a alguns destes parâmetros valores correntemente usados, que se apresentam na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Valores predefinidos para as características do esgoto

Parâmetro	Valor predefinido
Viscosidade cinemática, ν	1,10 mm^2/s
Módulo de elasticidade, ε	2 030 MPa
Massa volúmica, ρ	1 100 kg/m^3

4.2.3.2. Perdas de carga localizadas

No caso de se pretender contabilizar as perdas de carga localizadas, o programa apresenta duas hipóteses: ou se indica o coeficiente global, ΣK_{Loc}, ou se indica logo um valor absoluto de perdas localizadas totais, ΔH_{Loc}.

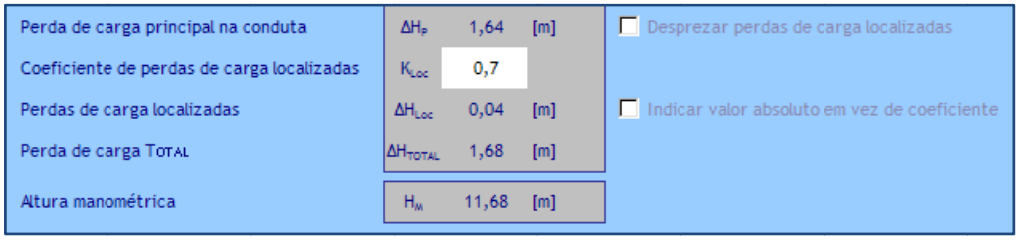


Figura 4.16 – Perdas de Cargas Localizadas: introdução do valor do Coeficiente Glogal K_{Loc}

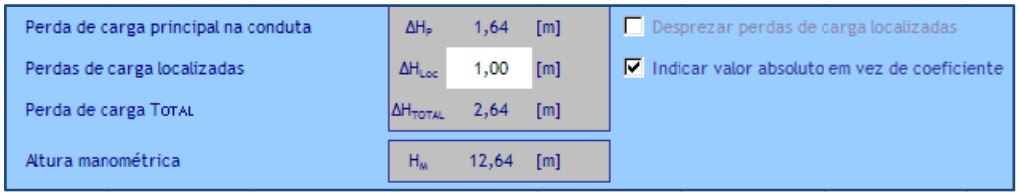


Figura 4.17 – Perdas de Cargas Localizadas: introdução do valor absoluto de Perdas Totais, ΔH_{Loc}.

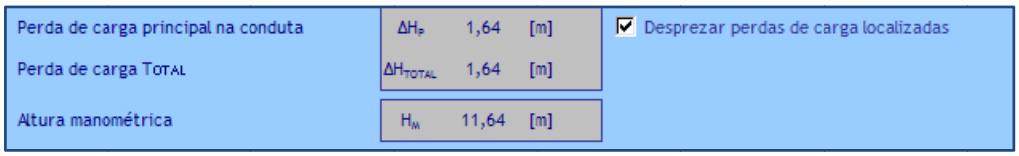


Figura 4.18 – Desprezar as Perdas de Cargas Localizadas

4.2.3.3. Coeficiente de ancoragem da conduta

O valor do coeficiente de ancoragem, C_1, é introduzido directamente pelo utilizador. No entanto, optou-se por criar também a possibilidade de calcular este coeficiente através das condições de assentamento da conduta e do coeficiente de Poisson do material de que ela é feita.

Se o utilizador marcar a caixa de verificação que se encontra ao lado, surge uma caixa de diálogo que solicita a descrição das condições de assentamento da conduta (v. Figura 4.19).

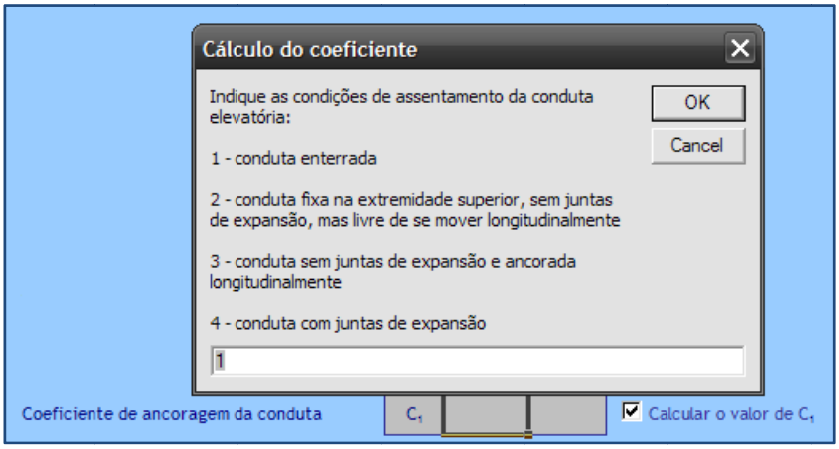


Figura 4.19 – Indicação das Condições de Assentamento da Conduta

Cada condição está associada a um número, devendo ser escolhido e inserido na zona da resposta. Exceptuando a resposta 1 (que conduz a $C_1 = 1$), todas as outras abrem uma nova janela de diálogo que pede o coeficiente de Poisson do material da conduta (v. Figura 4.20). Conforme o tipo de assentamento da conduta, o programa usa n para calcular C_1 (v. expressões na página 27).

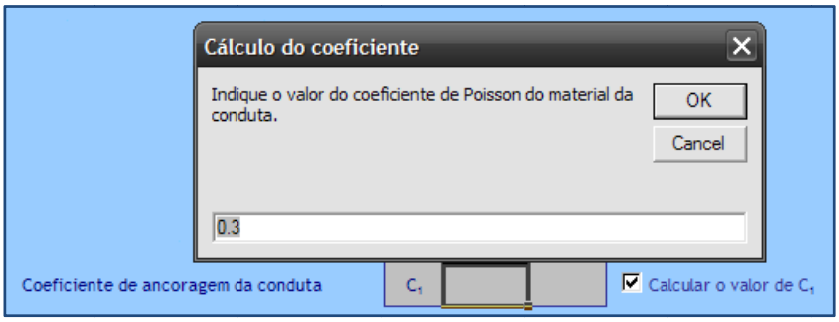


Figura 4.20 – Solicitação do Coeficente de Poisson para calcular C_1.

4.2.3.4. Impressão de Diagramas

À medida que se desenvolvem os cálculos descritos, dois diagramas são traçados:

- o da Linha de Energia e;
- o da Envolvente do Choque Hidráulico.

O Programa inclui opções que permitem imprimir cada um destes diagramas.

No Anexo A 1 apresentam-se exemplos destas impressões.

4.2.4. Câmara de Aspiração

4.2.4.1. Volume

Para a determinação do volume útil mínimo da câmara de aspiração, o programa recorre ao suplemento Solver do Excel. Esta ferramenta de optimização de problemas foi usada da seguinte forma:

- Há uma célula (oculta na folha) que se pretende que represente a variável t_1 e cujo valor começa por ser simplesmente 1 (para definir o primeiro valor das iterações do Solver);
- Noutras células (também ocultas), calcula-se t_2, t_3, t_4 e Z, em função daquele t_1;

- Na célula correspondente ao volume mínimo teórico, $V_{mín}$ (célula não oculta, v. Figura 4.21), calcula-se o volume da câmara em função de t_1 e Q_A, conforme a Expressão (3.21);
- Usa-se a ferramenta Solver para minimizar o valor deste $V_{mín}$, alterando t_1, obedecendo às seguintes restrições:

$$t_3 + t_4 + t_1 \leq 7\,200 \text{ s} \qquad (4.2)$$

$$t_2 \geq 60 \text{ s} \qquad (4.3)$$

$$t_4 \leq 180 \text{ s} \qquad (4.4)$$

$$t_1 \geq 1\,200 \text{ s} \qquad (4.5)$$

$$Z \leq 25 \text{ /h} \qquad (4.6)$$

A restrição traduzida na Expressão (4.5) não é obrigatória e surge apenas no sentido de apresentar um resultado em que o tempo de enchimento da câmara seja razoável (pelo menos 20 min).

Feitos os cálculos, o volume útil real da câmara, $V_{útil}$, é imediatamente considerado pelo programa como sendo igual ao valor calculado pelo Solver (v. Figura 4.21). Mas fica sempre ao critério do utilizador seleccionar o valor que quer, mesmo que seja inferior ao calculado (nesse caso, surgirá apenas uma mensagem de aviso quando se fizer a alteração – v. Figura 4.25).

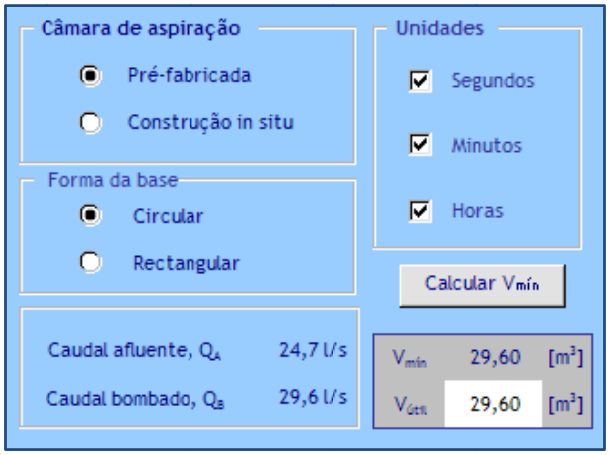


Figura 4.21 – Opções de escolha do Tipo de Câmara e das Unidades para exibição dos Resultados.

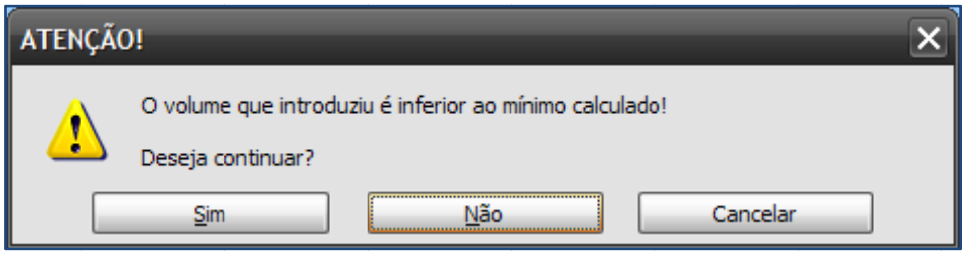


Figura 4.22 – Aviso que surge quando o Utilizador introduz um Volume inferior ao Mínimo Calculado.

Ao fundo da folha é exibida uma tabela onde surgem todas as variáveis recalculadas em função do volume útil real (v. Figura 4.26). Ao lado desta tabela, existe um quadro de verificações (v. Figura 4.27) que é actualizado à medida que o utilizador experimenta diferentes volumes, permitindo assim fazer uma apreciação dos prós e contras de cada solução.

Tempo de enchimento da câmara de aspiração	t_1	1 200 s	20,0 min	0,33 h
Tempo de funcionamento da bomba (por ciclo)	t_2	6 000 s	100,0 min	1,67 h
Tempo que a partícula demora a percorrer a conduta	t_3	251 s	4,2 min	0,07 h
Tempo que a partícula se encontra parada na conduta	t_4	1 200 s	20,0 min	0,33 h
Número de ciclos	ω	0,04	0,04	0,04
Tempo de retenção na conduta	t_c	1 451 s	24,2 min	0,40 h
Número de arranques, por unidade de tempo	Z	0 /s	0,0 /min	0,50 /h

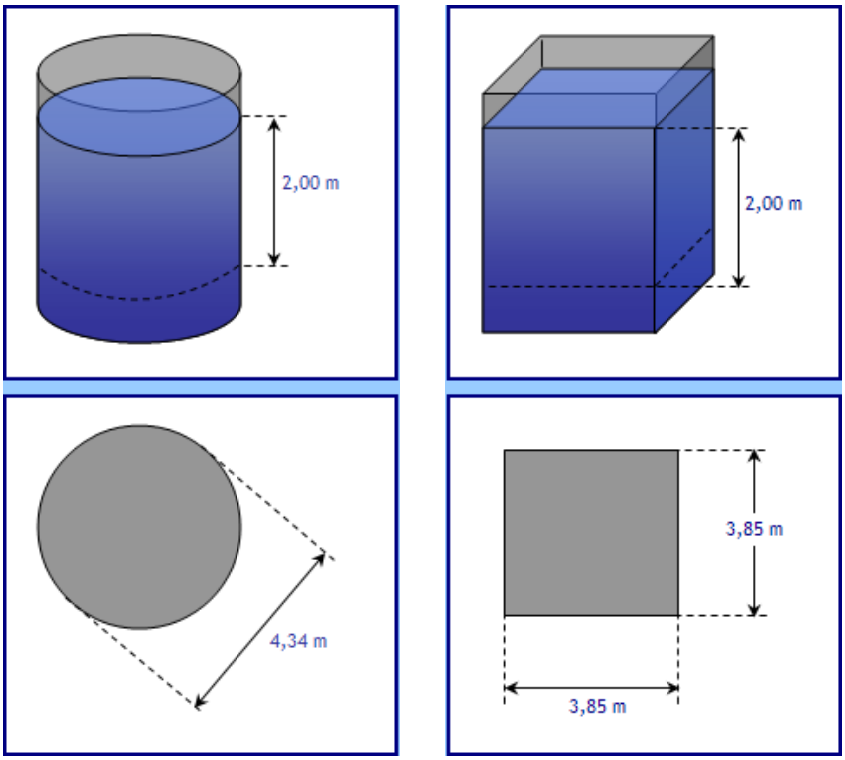
Figura 4.23 – Parâmetros recalculados para o Volume da Câmara efectivamente escolhido

Verificações	
$t_3 + t_4 + t_1 < 2$ h	OK
$t_2 > 60$ s	OK
$t_4 < 180$ s	KO
$t_1 > 20$ min	OK
$Z < 25$ /h	OK

Figura 4.24 – Verificação das Restrições

4.2.4.2. Dimensão e Forma

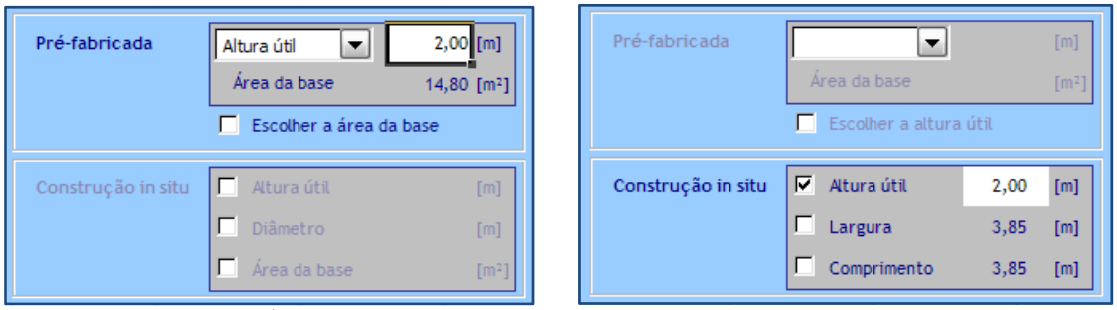
Conforme é seleccionada uma forma da câmara (base circular ou rectangular – v. Figura 4.21), o esboço da câmara vai mudando (v. Figura 4.28 a) e b), respectivamente).



a) b)

Figura 4.25 – Esboço da Forma da Câmara, com indicação das Dimensões

Dependendo também do tipo de construção da câmara (pré-fabricada ou "*in situ*" – v. Figura 4.21), a forma de introduzir as dimensões da mesma mudam (v. Figura 4.26).



a) b)

Figura 4.26 – Introdução das Dimensões da Câmara:

a) se é Pré-fabricada

b) se é Construída *"in situ"*

No caso de ser uma estrutura pré-fabricada, o utilizador introduz a dimensão seleccionada da lista pendente (a altura útil ou a área da base) e o programa imediatamente devolve outra dimensão, fazendo o quociente entre o volume e a dimensão escolhida. Se o utilizador marcar a caixa de verificação, então ambas as dimensões passam a ser definidas pelo utilizador e o volume útil é que deixa de ser uma variável, passando a ser calculado pelo programa como sendo o produto das duas dimensões (v. Figura 4.27).

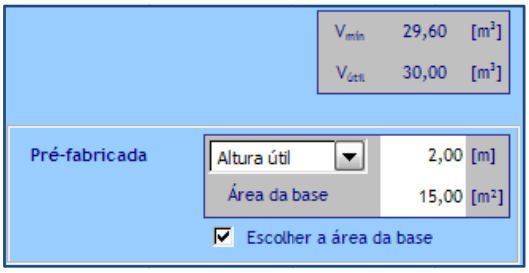
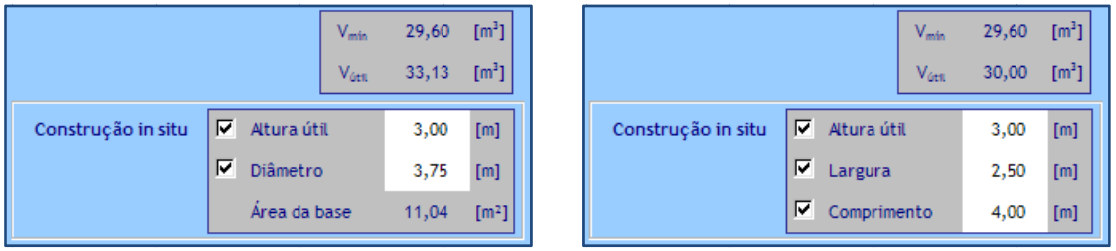


Figura 4.27 – Liberdade de decisão sobre as Dimensões da Câmara Pré-fabricada

O cálculo das dimensões no caso da estrutura construída "*in situ*" desenvolve-se de forma idêntica. Ou seja, cada vez que uma caixa de verificação está marcada, a dimensão correspondente passa a ser definida pelo utilizador e as restantes são calculadas em função do volume e desse valor imposto (v. exemplo da Figura 4.26 b), onde a altura é definida pelo utilizador). Se as três dimensões (ou duas, no caso da base circular) estiverem seleccionadas, o volume deixa de ser uma variável e é calculado em função das dimensões escolhidas pelo utilizador (v. Figura 4.28).



a) b)

Figura 4.28 – Liberdade de decisão sobre as dimensões da câmara construída *"in situ"*:

a) base circular; b) base rectangular

Se nenhuma caixa de verificação estiver seleccionada, o programa calcula das dimensões da seguinte forma:

- No caso de a base ser rectangular, admite-se que a estrutura tem as dimensões todas iguais, ou seja, que a altura, a largura e comprimento são iguais à raiz cúbica do volume. A única restrição imposta é que a altura seja inferior a 3 m. Caso esta dimensão ultrapasse este valor, então a variável assume esse valor máximo e a largura e o comprimento são iguais à raiz quadrada do quociente entre o volume e a altura;
- No caso de a base ser circular, a altura é igual à raiz cúbica do volume, até um valor máximo de 3 m e o diâmetro é sempre calculado em função deste valor, h, e do volume, $V_{útil}$, de acordo com a Expressão *(4.7)*:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{útil}}{\pi \cdot h}} \qquad (4.7)$$

4.2.4.3. Soluções que não cumprem todas as verificações

Nem sempre o programa consegue chegar a uma solução que satisfaça todas as restrições. No entanto, o incumprimento de algumas restrições pode ser compensado por medidas alternativas. A Tabela 4.2 resume o que acontece no programa quando uma determinada restrição não é cumprida.

Tabela 4.2 – Restrições não cumpridas

Restrição não cumprida	Mensagem de Aviso
$t_3 + t_4 + t_1 \leq 2$ h e/ou $Z \leq 25$ /h	"Não foi encontrada uma solução satisfatória."
$t_2 \geq 1$ min e/ou $t_4 \leq 3$ min	"*Foi encontrada uma solução, mas com inconvenientes: …*", seguindo-se a descrição do inconveniente e propostas de resolução.
$t_1 \geq 20$ min	Não surge mensagem de aviso, apenas é assinalado "*KO*" junto à verificação (v. Figura 4.24).

Os "inconvenientes" mencionados na tabela podem ser resolvidos com recurso a procedimentos alternativos:

- Se a duração do ciclo da bomba, t_2, é inferior a 1 min, sugere-se que seja alterado o caudal bombeado (ou o próprio grupo electrobomba);
- Se o tempo de retenção do esgoto, t_4, é superior a 3 min, prevêem-se problemas de septicidade. Sendo assim, sugere-se que se tomem medidas para mitigar os problemas de septicidade, como seja a adição de químicos, ou a diminuição da extensão da conduta elevatória, com recurso a estações intermédias.

4.3. ANÁLISE DE DESEMPENHO

A Análise de Desempenho de cada solução estudada é um aspecto que se considera de muita importância no presente estudo.

Foi desenvolvida uma metodologia de Análise de Desempenho que constitui uma ferramenta que pretende auxiliar o utilizador a aquilatar o funcionamento do sistema em função de 5 parâmetros, os Indicadores de Desempenho (ID).

4.3.1. ESTADO DA ARTE

A necessidade crescente de garantir um desenvolvimento sustentável leva a que a gestão dos recursos naturais seja actualmente muito debatida. E a água, como recurso indispensável à vida humana, é dos temas mais intensamente estudados. Discutem-se hoje e cada vez mais quais as melhores medidas a tomar para reduzir os desperdícios de água, por um lado, e, por outro, quais as melhores formas de restituir as águas usadas ao seu meio natural, mitigando problemas relacionados com poluição.

Nesse sentido, uma boa gestão dos sistemas de drenagem revela-se muito importante. Documentos como o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PEEASAR) foram criados para alcançar esse objectivo. Tal como o nome indica, trata-se de um documento estratégico de planeamento no domínio das infra-estruturas urbanas de abastecimento de água e saneamento de águas residuais, que estipula uma série de objectivos a atingir até 2013.

No que concerne os sistemas públicos de drenagem e tratamento de águas residuais urbanas, estes deverão servir pelo menos 90% da população portuguesa (PEAASAR II, 2007-2013). Para cumprir tal objectivo é necessário construir, ampliar e reabilitar sistemas de drenagem. Mas sem uma boa organização e gestão, não é possível obter resultados produtivos. Nesse sentido, é vantajoso recorrer a linhas orientadoras que avaliem a eficiência de um sistema de diferentes perspectivas (económica, ambiental, social, etc.).

Uma avaliação através de Indicadores de Desempenho (ID) revela-se assim uma mais-valia para alcançar os objectivos do PEEASAR, uma vez que "tornam directa e transparente a comparação entre objectivos de gestão e resultados obtidos, simplificando uma situação que de outro modo seria complexa" – Matos *et al.* (2004).

Os ID's são parâmetros de avaliação geralmente expressos através de rácios entre variáveis. Se não forem adimensionais, devem expressar intensidade e não extensão (Matos, R. et al., 2004): por exemplo, €/m^3 e não €.

Cada ID deve ser único, claramente definido e com interpretação exclusiva e consisa. A sua aplicação não deve estar restrita a especialistas, pelo que tem de ser autoexplicativo e facilmente compreendido e auditável. Deve ser aplicável a entidades de diferentes dimensões e reportando sempre a áreas e períodos de tempo bem definidos (Matos, R. et al., 2004).

De entre as principais vantagens da utilização de ID's, destacam-se (Matos, R. et al., 2004):

- para as entidades gestoras dos serviços:
  - o "apoio às actividades de estruturação e de planeamento estratégico";
  - a "monitorização mais simples e mais estruturada dos efeitos das decisões de gestão";
  - a "identificação de pontos fortes e fracos de unidades operacionais (…) evidenciando necessidades de melhorias de produtividade, de implementação de procedimentos e de rotinas de trabalho";
  - a "obtenção de informação fiável e robusta de natureza científica, técnica, financeira e de pessoal, para a realização de auditorias e para apoio à previsão dos efeitos

- para as entidades reguladoras (e similares):
  - a "obtenção de um quadro de referência consistente para a comparação do desempenho de entidades gestoras de sistemas de águas residuais e para a identificação de áreas de actividade que necessitem de melhorias";
  - o "apoio à formulação de políticas para o sector, de preferência numa perspectiva de gestão integrada dos recursos hídricos (…)";
  - a "verificação da adequação do desempenho ambiental através dea comparação com valores de referência pré-estabelecidos".
- para as entidades financiadoras:
  - o "apoio à avaliação de prioridades de investimento, à análise de riscos, à selecção de projectos, à construção de obras e à realização de auditorias";
- para os utilizadores:
  - a "obtenção de informação diversa e normalizada sobre o desempenho da entidade gestora, de forma tão transparente quanto possível";
- para as organizações de Certificação de Qualidade:
  - a "obtenção de informação chave para efeitos de garantia da qualidade".

Nalguns países, existem já sistemas de avaliação de desempenho através de indicadores. Mas noutros, como Portugal, esta temática ainda é relativamente incipiente (Galvão, 2002), apesar de começarem já a surgir estudos desta matéria – nomeadamente a proposta de um Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável (SIDS) para aplicação em Portugal da Direcção Geral do Ambiente (DGA).

A International Water Association (IWA) tem promovido a criação de um conjunto de regras de avaliação uniforme e globalmente aceite. Alguns documentos da IWA têm sido desenvolvidos com o apoio do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e do Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), designadamente "Indicadores de Desempenho para Serviços de Águas Residuais"; de Matos *et al.* (2004).

A Global Reporting Initiative (GRI), como entidade que desenvolve directrizes de sustentabilidade à escala mundial, também se tem debruçado sobre o desenvolvimento sustentável, contribuindo com propostas para regular a definição de ID's.

A International Organization for Standardization (ISO) tem publicado normas no sentido de uniformizar os critérios de avaliação do desempenho de sistemas de saneamento. Uma delas é a ISO 24511:2007 (Guidelines for the management of wastewater utilities and for the assessment of wastewater services). Esta norma recomenda que a avaliação dos serviços de saneamento seja metodicamente desenvolvida e periodicamente repetida, incidindo sobre diferentes aspectos (ISO 24511:2007, Annex C):

- protecção da **saúde pública**, tomando medidas que conduzam à remoção de bactérias patogénicas e à redução de concentrações de substâncias poluentes nas águas residuais;
- protecção do **meio ambiente**, preservando os recursos naturais, a flora e a fauna e controlando os efeitos de cheias;
- protecção do **meio urbano**, controlando as ocorrência de inundações e mitigando os seus efeitos nefastos, garantido a segurança dos utilizadores e a proficiência do sistema;
- promoção de um **desenvolvimento sustentável**, através de medidas qualitativas (uso eficiente e reutilização da água) e quantitativas (prevenção da poluição, remoção de substâncias poluentes).

Como exemplos de ID's, a ISO cita alguns dos convencionados pela IWA, donde se conclui que aquela entidade será uma boa referência.

4.3.1.1. Indicadores de Desempenho propostos pela IWA

Os 182 ID's propostos pela IWA são enquadrados em seis categorias (Matos, R. et al., 2004):

- 15 indicadores Ambientais (**En**vironmental), **wEn**;
- 25 indicadores de Recursos Humanos (**Pe**rsonnel), **wPe**;
- 12 indicadores Infra-Estruturais (**Ph**ysical), **wPh**;
- 56 indicadores Operacionais (**Op**erational), **wOp**;
- 29 indicadores de Qualidade de Serviço (**Q**uality of **S**ervice), **wQS**;
- 45 indicadores Económico-Financeiros (Economical and **Fi**nancial), **wFi**.

Como se pode verificar, a nomenclatura dos indicadores usada baseia-se nas designações originais inglesas, correspondendo a letra inicial **w** à inicial da palavra "*wastewater*".

A importância relativa de cada ID é estabelecida pela atribuição de níveis: N1, N2 e N3 (ordem decrescente de importância). Cada caso é um caso, por isso não há nenhuma regra que obrigue a uma distribuição rígida destes níveis.

A interpretação dos índices está condicionada pelo contexto em que a análise de desempenho se efectua: é necessário ter em conta (Matos, R. et al., 2004):

- o perfil da entidade gestora (características do negócio em que a organização opera);
- o perfil dos sistemas geridos (volumes de águas residuais, infra-estruturas físicas, meios tecnológicos e aspectos demográficos dos clientes);
- o perfil da região (geográfico, económico e demográfico).

Dada a extensão do documento da IWA, optou-se por destacar apenas os ID's mais relevantes para o estudo das estações elevatórias de águas residuais e compila-los numa Tabela, que se inclui no Anexo A 3.

4.3.1.2. Indicadores de Desempenho propostos pela GRI

A GRI separa os indicadores de desempenho para um desenvolvimento sustentável em seis conjuntos de protocolos, cada um versando uma série de categorias (Directrizes para Relatório de Sustentabilidade, 2006):

- Económico (**Ec**onomical) **EC**
- Ambiental (**En**vironmental), **EN**;
- Direitos Humanos (**H**uman **R**ights), **HR**;
- Práticas de Trabalho & Trabalho Decente (**La**bor Practices & Decent Work), **LA**;
- Responsabilidade pelo Produto (**P**roduct **R**esponsability), **PR**;
- Sociedade (**So**ciety), **SO**.

A GRI indica ainda o nível de importância de cada categoria, classificando-as como *"Essenciais"* ou *"Adicionais"*. Algumas categorias essenciais a destacar no âmbito deste estudo foram reunidas numa Tabela que se apresenta no Anexo A 4.

4.3.2. INDICADORES

Verifica-se que os ID's definidos na literatura da especialidade se podem agrupar genericamente, em dois grupos (Galvão, 2002):

- Indicadores **Globais**, que "procuram traduzir o comportamento do sistema de uma forma global, cobrindo diversas áreas (…), calculados de forma a serem independentes de algumas características do sistema (…), de modo a permitir comparações entre diferentes sistemas" – por exemplo, a frequência de inspecção de instalações elevatórias (wOp10, IWA);
- Indicadores **Técnicos**, mais "vocacionados para a avaliação do comportamento do sistema do ponto de vista técnico, essencialmente através da análise de critérios hidráulicos ou sanitários" – por exemplo, a potência de bombagem utilizada no sistema de drenagem (wPh8, IWA).

Uma análise através de Indicadores Globais está por isso mais sujeita a interpretações subjectivas.

O algoritmo desenvolvido neste trabalho é muito elementar, pelo que não seria possível incorporar uma Análise de Desempenho baseada em Indicadores que exigem caracterizações minuciosas dos projectos. O maior grau de subjectividade que lhes é inerente exige um Algoritmo suficientemente flexível para incorporar as diversas variáveis que os caracterizam – o que, por enquanto, não está ao alcance deste Programa.

Por isso, procurou-se adaptar o que se apreendeu da literatura para definir Indicadores adequados ao nível do Programa criado.

Assim, procurou-se centrar este trabalho somente em ID's Técnicos, mas sempre ligados a aspectos financeiros, já que estes acabam por ter um impacto demasiado significativo na escolha da solução final para serem negligenciados. Procuraram-se ID's que fossem utilizados essencialmente pela entidade gestora, para monitorização e ajuste das políticas de gestão.

Além disso, os ID's seleccionados devem ser mutuamente influenciados uns pelos outros, para evitar situações em que melhorias numa área provoquem agravamentos noutra (Matos, R. et al., 2004).

Assim, os ID's escolhidos foram:

- Energia eléctrica gasta com o funcionamento do grupo electrobomba;
- Volume de esgoto na câmara de aspiração;
- Número de arranques do grupo electrobomba, por hora;
- Tempo de retenção do esgoto;
- Velocidade de escoamento na conduta elevatória;

O utilizador é livre de atribuir a cada um destes Indicadores a ponderação que bem entender. Por No exemplo da Figura 4.29, o utilizador optou por dar mais importância à energia eléctrica que aos restantes Indicadores.

A soma de todas as ponderações nunca deverá ser diferente de 100% e, por isso, se o utilizador se enganar, o programa alerta-o através de uma mensagem de aviso e de uma chamada de atenção bem visível (v. Figura 4.30). O prosseguimento da Análise de Desempenho fica impedido se este problema não for resolvido.

Para consolidar a análise, o algoritmo calcula o volume de água residual de esgoto na câmara de aspiração em cada minuto do dia e, cumulativamente, determina os tempos de bombagem e o número de arranques por horas, durante o dia inteiro.

É possível ver o diagrama que mostra a variação de volume de água residual na câmara carregando no botão "Ver Diagrama". O utilizador pode imprimi-lo – um exemplo de uma impressão está incluído no Anexo A 1. Aparentemente, a linha do volume de esgoto na câmara em cada instante nunca toca os extremos ($V_{útil}$ ou zero). Isto acontece porque o desenho do gráfico é feito com base num conjunto

discreto de pontos, cujas abcissas correspondem aos valores inteiros dos minutos. Quando os valores extremos são atingidos em fracções de minutos, não há lugar à visualização dos pontos no gráfico. Contudo, estas fracções entram na contabilização dos tempos de bombagem.

Se porventura ocorrer o transbordo do esgoto (i.e., se o volume no poço for, num instante, superior ao volume útil da câmara) com duração superior a 10 minutos, no final do cálculo surge uma mensagem abaixo do Índice de Desempenho Global (v. Figura 4.31).

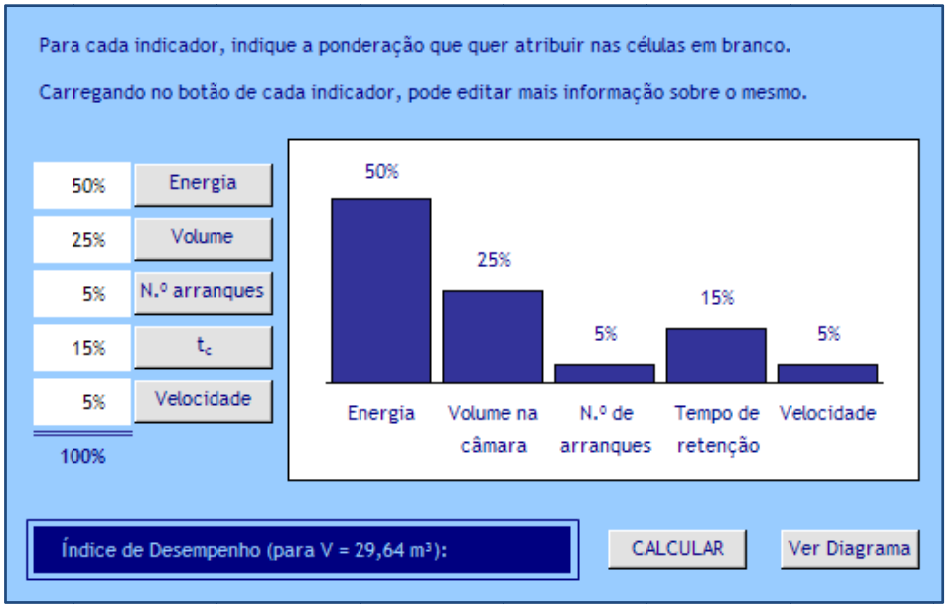
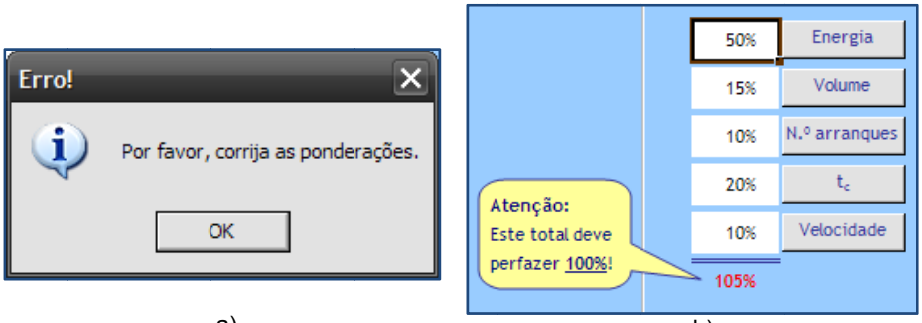


Figura 4.29 – Análise de Desempenho através de Indicadores



a) b)

Figura 4.30 – Aviso que impede o prosseguimento do cálculo se a soma das ponderações for diferente de 100%

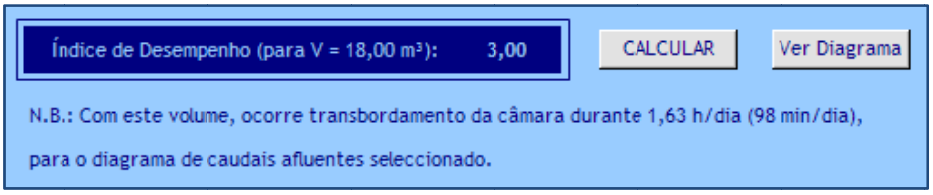


Figura 4.31 – Aviso que surge se ocorre transbordamento, durante um período superior a 10 min, para a solução seleccionada.

Nos Subcapítulos que se seguem explica-se o que torna cada Indicador importante e como é avaliado e pontuado.

4.3.2.1. Energia Eléctrica

Este indicador pretende traduzir as vantagens/desvantagens de um determinado padrão de bombagem diário sujeito a um Tarifário da Energia Eléctrica definido na Base de Dados.

O algoritmo começa por calcular a despesa com energia decorrente do tarifário actual.

$$\text{Despesa actual} = \sum_{i} \text{Tempo de funcionamento na hora i} \times \text{Custo kW} \cdot \text{h nessa hora i} \qquad (4.8)$$

Supondo que o tempo de bombagem se concentrava prioritariamente nas horas em que o custo do kW·h fosse menor, teríamos uma situação dita "ideal".

$$\text{Despesa ideal} = \sum_{i=1}^{j} \frac{i}{60} \times \text{Custo do kW} \cdot \text{h, do menor para o maior} \quad , \qquad (4.9)$$

$$j = \text{tempo de funcionamento total, em minutos}$$

No outro extremo temos a situação "pior", aquele em que o tempo de bombagem se concentraria prioritariamente nas horas em que o custo do kW·h é maior.

$$\text{Despesa pior} = \sum_{i=1}^{j} \frac{i}{60} \times \text{Custo do kW} \cdot \text{h, do maior para o menor} \quad , \qquad (4.10)$$

$$j = \text{tempo de funcionamento total, em minutos}$$

Com estes valores, definiu-se um coeficiente que traduz a proximidade da distribuição real da ideal:

$$\frac{\text{Despesa actual} - \text{Despesa ideal}}{\text{Despesa ideal} - \text{Despesa pior}} \qquad (4.11)$$

Os valores importantes para o cálculo do índice deste indicador, como uma tabela com os tempos de funcionamento e outras tabelas com os três tipos de despesas, vão sendo apresentados para o utilizador ter uma maior sensibilidade do que se está a passar (v. Figura 4.32)

Definiu-se a pontuação a atribuir a este indicador com base nas simulações efectuadas. Verificou-se, com as experiências, que era muito difícil fugir de valores entre 0,60-0,70. Por outro lado, valores acima dos 0,80 surgiam apenas em casos mais gravosos. Daí a distribuição ser a que se apresenta na Figura 4.33.

4.3.2.2. Volume na Câmara de Aspiração

Este indicador tem em conta o volume de águas residuais transbordado (se ocorrer transbordo), durante um dia. Como se deve deixar sempre uma distância entre o nível máximo do esgoto na câmara e a geratriz inferior do colector afluente (v. Subcapítulo 3.1.5.1), a pontuação deste indicador para níveis que não ultrapassem essa geratriz é intermédia (4 a 2), já que essa distância existe precisamente porque se prevê a possibilidade de, pontualmente, o nível subir ligeiramente acima do máximo.

Tarifa horária máxima	0,110 €/kW·h
Tarifa horária mínima	0,040 €/kW·h
Tempo de funcionamento por dia	19,65 h
Despesa, se concentrado nas tarifas mais caras	1,412 €/kW
Despesa, se concentrado nas tarifas mais baratas	1,124 €/kW
Despesa, com a distribuição actual	1,304 €/kW
$\frac{\text{Despesa real - Despesa mais barata}}{\text{Despesa mais cara - Despesa mais barata}}$	0,63
Contribuição deste Indicador	4

Funcionamento do Grupo Electrobomba		
Horas do dia	Custo do kW·h	Tempo de funcionamento
0:00 - 1:00	0,043 €	46 min
1:00 - 2:00	0,043 €	60 min
2:00 - 3:00	0,040 €	60 min
3:00 - 4:00	0,040 €	60 min
4:00 - 5:00	0,040 €	47 min
5:00 - 6:00	0,040 €	60 min
6:00 - 7:00	0,043 €	60 min
7:00 - 8:00	0,066 €	60 min
8:00 - 9:00	0,066 €	60 min
9:00 - 10:00	0,066 €	47 min
10:00 - 11:00	0,110 €	60 min
11:00 - 12:00	0,110 €	60 min
12:00 - 13:00	0,066 €	60 min
13:00 - 14:00	0,066 €	47 min
14:00 - 15:00	0,066 €	60 min
15:00 - 16:00	0,066 €	60 min
16:00 - 17:00	0,066 €	60 min
17:00 - 18:00	0,066 €	60 min
18:00 - 19:00	0,066 €	47 min
19:00 - 20:00	0,110 €	60 min
20:00 - 21:00	0,110 €	60 min
21:00 - 22:00	0,066 €	60 min
22:00 - 23:00	0,066 €	47 min
23:00 - 24:00	0,066 €	60 min

Figura 4.32 – Parâmetros auxiliares para determinar a Pontuação do Indicador "Energia Eléctrica"

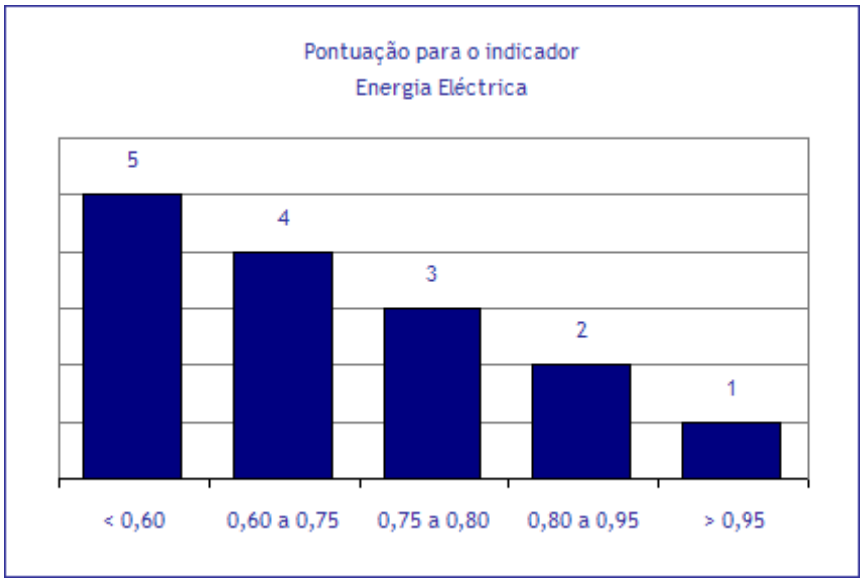


Figura 4.33 – Índice de Desempenho atribuído ao Indicador "Energia Eléctrica"

O índice é calculado comparando a diferença entre o volume no poço em cada minuto e o volume máximo permitido. Enquanto essa diferença for negativa, o índice é zero, o que corresponde à pontuação máxima, 5. Quando o nível de água residual já se encontra na margem de segurança (que se admite ser uma altura de 20 cm), a pontuação começa a decrescer, conforme a percentagem do volume da margem de segurança ocupado.

$$\frac{\text{Volume de transbordo} - \text{Volume útil máximo}}{\text{Volume de tolerância}} = \frac{\text{Vt} - \text{Vútil}}{\text{Área da Base} \times 20\text{ cm}} \qquad (4.12)$$

Quando este coeficiente é maior que 1, duas pontuações podem ser atribuídas:

- Se é maior, mas inferior ou igual a 1,10, ainda se atribui a pontuação mais baixa, 1;
- Se é maior e superior a 1,10, a pontuação é nula.

Volume Útil da Câmara, $V_{útil}$	29,00 m³
Área da Base da Câmara	2,00 m
Altura de Tolerância	20 cm
Volume de Tolerância, $V_{tolerância}$	0,40 m³
$\frac{\Sigma V_t - V_{útil}}{V_{tolerância}}$	**2,42**
Duração de período de transbordo *(se ocorrer)*	36,0 min 0,60 h
Contribuição deste Indicador	0

Figura 4.34 – Parâmetros auxiliares para determinar a Pontuação do Indicador "Volume na Câmara de Aspiração"

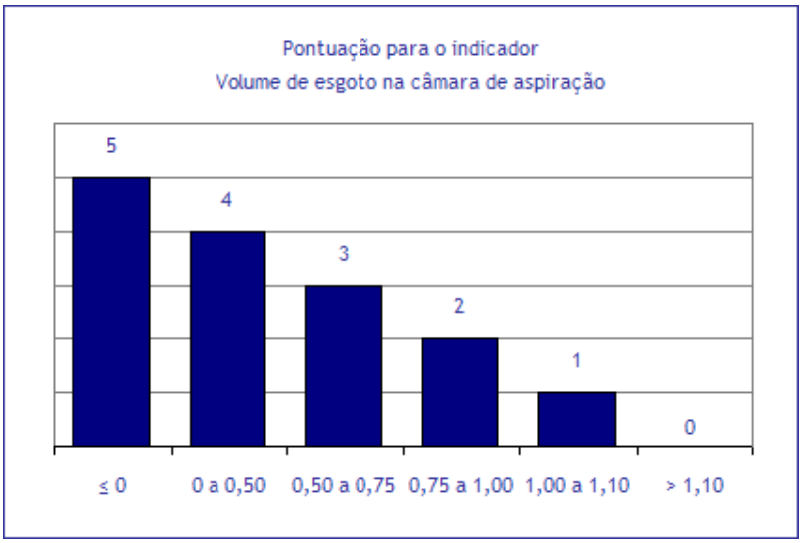


Figura 4.35 – Índice de Desempenho atribuído ao Indicador "Volume na Câmara de Aspiração"

O índice deste indicador é uma média da pontuação atribuída em todos os minutos, conforme o critério que acabou de se explicar. Se o transbordo persistir durante mais de 10 minutos, mesmo que dentro do volume de tolerância, o índice é penalizado com a subtracção de um valor, até um mínimo de zero.

4.3.2.3. Número de Arranques da Bomba por hora

Seguindo as indicações da bibliografia consultada (Patto, 1990; Tentúgal Valente, 1989; Grundfos, 2005), sugere-se a distribuição de pontuações apresentada no gráfico da Figura 4.36, independentemente da potência do grupo.

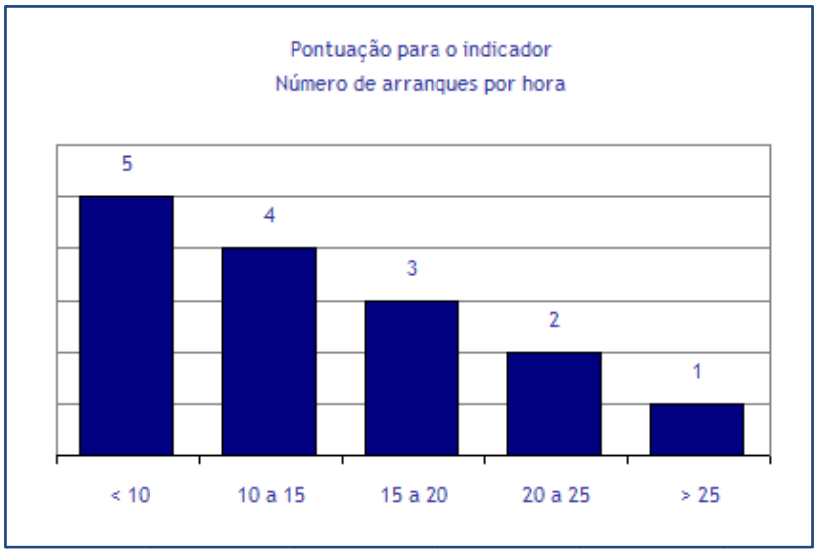


Figura 4.36 – Índice de Desempenho atribuído ao Indicador "Número de Arranques por hora"

4.3.2.4. Tempo de Retenção do Esgoto

Seguindo as indicações da bibliografia consultada (Patto, 1990; Tentúgal Valente, 1989 e Grundfos, 2005), sugere-se a distribuição de pontuações apresentada no gráfico da Figura 4.37.

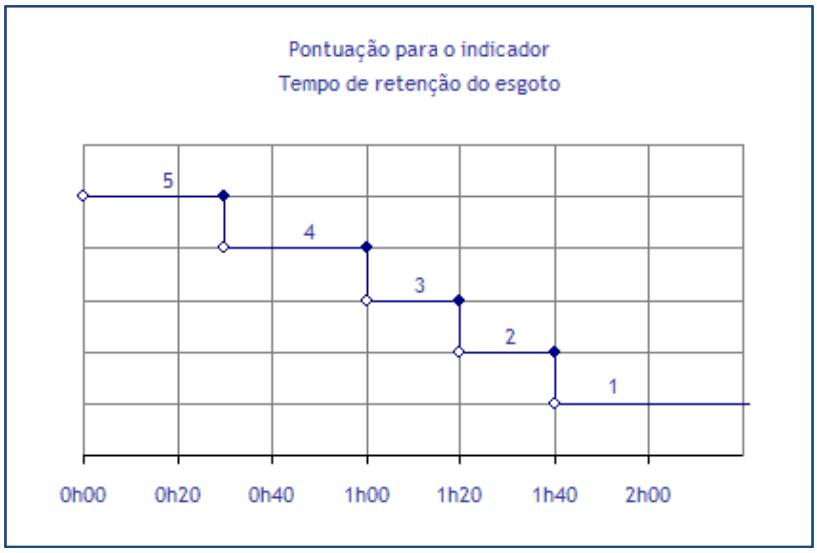


Figura 4.37 – Índice de Desempenho atribuído ao Indicador "Tempo de Retenção do Esgoto"

4.3.2.5. Velocidade de Escoamento na Conduta Elevatória

A velocidade na conduta elevatória tem de ser pelo menos 0,70 m/s (Decreto Regulamentar n.º 23/95) – cf. Subcapítulo 3.1.1.2. Por isso, considera-se que qualquer velocidade abaixo deste valor terá pontuação nula, como medida penalizadora excepcional.

Por outro lado, segundo Galvão (2002), uma velocidade até 1,20 m/s trará um melhor desempenho do sistema. Por isso, decidiu-se atribuir a velocidades neste intervalo as duas pontuações mais elevadas, 5 e 4. A distribuição das velocidades pelos intervalos de pontuações não é equitativa porque se entendeu que, se assim fosse, se estaria a penalizar imprudentemente velocidades ditas "boas".

Pelo exposto no Subcapítulo 3.1.1.2, escolheu-se 1,50 m/s para limite máximo da velocidade, fazendo a pontuação decrescer em intervalos equitativos. Acima deste valor, atribui-se novamente uma penalização com pontuação nula.

O gráfico da Figura 4.38 traduz a atribuição de pontuações que se descreveu.

Esta penalização de pontuações nulas poderia ser discutível, especialmente porque os limites superior e inferior podem ser alargados dependendo das circunstâncias de cada caso em particular (além de que o superior nem sequer é regulamentar). Contudo, se o utilizador decidir manter uma velocidade acima deste limite convicto de que é o melhor para o sistema, pode sempre diminuir (ou até anular) o peso deste indicador e avaliar o desempenho baseado apenas nos outros indicadores.

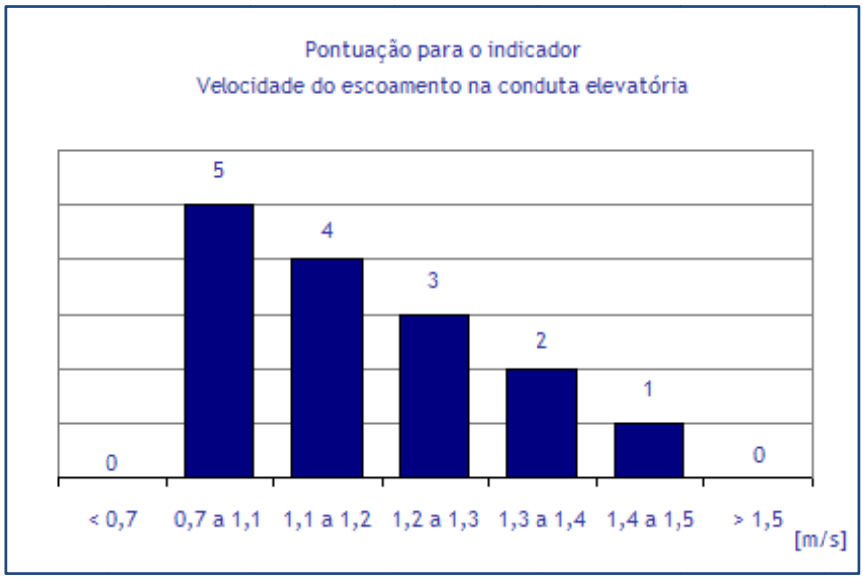


Figura 4.38 – Índice de Desempenho atribuído ao Indicador "Velocidade do Escoamento na Conduta Elevatória"

5

APLICAÇÃO A UM CASO CONCRETO

Para experimentar o programa desenvolvido, recorreu-se a registos de caudais afluentes medidos numa estação elevatória já está operacional há cerca de 10 anos. Trata-se da Estação Elevatória de Águas Residuais de Afife, no concelho de Viana do Castelo e que a partir deste ponto se designará abreviadamente por EE de Afife.

5.1. Caracterização da Estação Elevatória de Afife

A Águas do Minho e Lima, S.A. (AdML) é a empresa actualmente responsável pela gestão, operação e manutenção dos sistemas de abastecimento, drenagem e tratamento de água da região do Minho-Lima, que inclui os concelhos de Arcos de Valdevez, Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Valença, Viana do Castelo e Vila Nova de Cerveira. A estação elevatória em estudo faz parte do Subsistema de Saneamento da Gelfa e localiza-se no litoral, quase na fronteira do concelho de Viana do Castelo com Caminha (v. Figura 5.1).

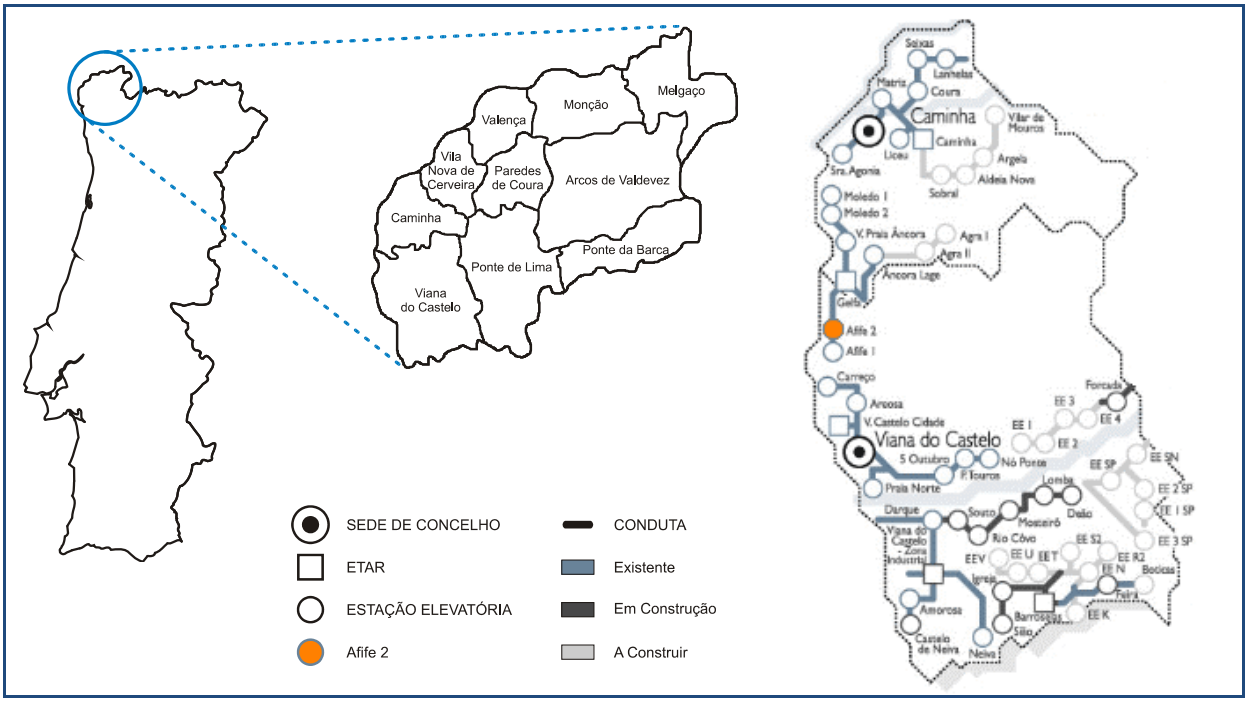


Figura 5.1 – Localização da EE de Afife, adapt. http://www.aguasdominhoelima.pt (2008)

Existem, como se pode ver, duas estações muito próximas com o nome "Afife": Afife 1 é uma EE mais pequena que recebe esgotos do sistema de drenagem de parte das Freguesias de Afife e de Carreço e os eleva depois para Afife 2. A EE em estudo é esta última[10], que é assim alimentada não só pela drenagem em baixa da restante parte da Freguesia de Afife, mas também pela EE Afife 1.

Figura 5.2 – Edifício de Apoio da EE de Afife (fonte: AdML)

5.1.1. Conduta Elevatória

A conduta elevatória de PVC que daí conduz os esgotos até à ETAR de Gelfa é assente em vala, com aterro (de terra escolhida) colocada superiormente. Logo no início da conduta está instalado um medidor de caudal DN 150.As restantes características técnicas da conduta elevatória encontram-se resumidas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Características Técnicas da Conduta Elevatória da EE de Afife (fonte: AdML)

Conduta Elevatória	
Diâmetro	Ø200 (188,2 mm)
Desnível geométrico	30 m
Extensão	800 m
Pressão Nominal	PN6
Módulo de Elasticidade	20 MPa
Rugosidade Relativa	1 mm
Inclinação	3 %

5.1.2. Obra de Entrada

A interface de afluências à EE de Afife está equipada com uma grade manual, uma grade suplementar de retenção de gradados e ainda uma grade de retenção de gorduras (v. Figura 5.3).

[10] É comum omitir-se o "2", uma vez que é a estação mais importante das duas.

As operações de limpeza e recolha desses gradados e gorduras são realizadas manualmente, sendo recolhidas para um cesto.

a)

b)

Figura 5.3 – Sistema de retenção de sólidos e gorduras (fonte: AdML):
a) traseiras do edifício de apoio, com porta da obra de entrada aberta
b) grades e cesto para recolher as lamas, quando se limpam os dispositivos

5.1.3. Grupos Elevatórios

A elevação é feita com recurso a dois grupos electrobomba que estão submersos na câmara de aspiração e funcionam alternadamente através do comando de um sistema automático. As bombas são centrífugas e de eixo vertical. Outras características importantes estão resumidas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Características Técnicas dos Grupos Electrobomba (fonte: AdML)

Grupos Electrobomba	
Potência mecânica	25 kW
Potência Eléctrica	28,5 kW
Intensidade de corrente	52 A
Velocidade de rotação	1 450 rpm
Gama de caudais elevados	0~34 l/s
Gama de alturas elevadas	53~46 m

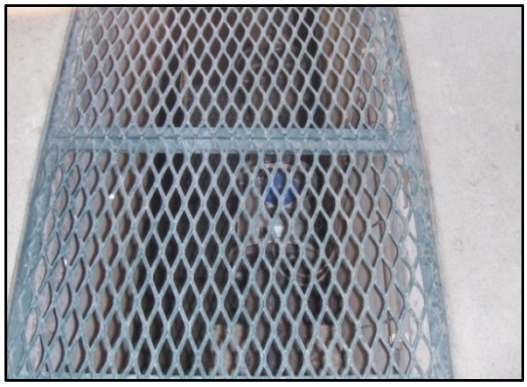
A ligação dos grupos à conduta elevatória é realizada através de tubagens onde se instalam válvulas de seccionamento (uma por cada bomba) – v. Figura 5.4.

Há ainda a considerar a existência de um manómetro instalado em picagens existentes depois da válvula de cunha e de retenção.

O leitor (ou visor) do medidor de caudal mencionado no Subcapítulo 5.1.1 e o quadro eléctrico encontram-se afixado em paredes interiores do edifício de apoio (v. Figura 5.5 e Figura 5.6).

O gerador de emergência (v. Figura 5.7) também está dentro do edifício, para estar mais protegido das intempéries.

a)



b)

Figura 5.4 – Válvulas de seccionamento nas tubagens de aspiração de cada grupo (fonte: AdML)

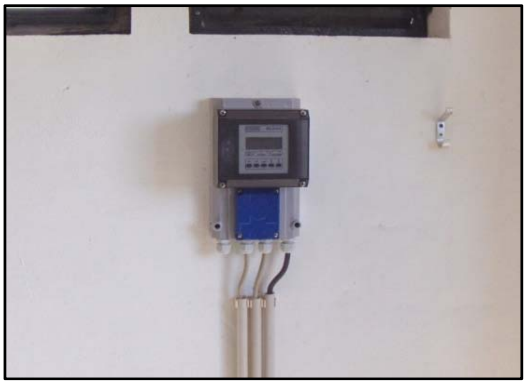


Figura 5.5 – Leitor do Medidor de Caudal (fonte: AdML)

a)

b)

Figura 5.6 – Quadro eléctrico (fonte: AdML)

Figura 5.7 – Gerador de Emergência (fonte: AdML)

5.1.4. Câmara de Aspiração

O acesso à câmara de aspiração é feito pelo exterior. Na Figura 5.8 pode ver-se a câmara fechada e aberta. Quando aberta, vêem-se pelo menos duas bóias de nível, mas existe ainda uma terceira de nível máximo de emergência.

a)

b)

Figura 5.8 – Câmara de Aspiração (fonte: AdML):
a) câmara fechada; b) câmara aberta (são bem vísiveis duas boías de nível)

Outras características relevantes sobre a Câmara de Aspiração são expostas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Características da Câmara de Aspiração (fonte: AdML)

Câmara de Aspiração construída *"in situ"*	
Dimensões (C×L×h)	2,48 m × 2,38 m × 2,9 m
Volume total	17,12 m^3
Diferença entre níveis de arranque e paragem	0,62 m
Volume útil	3,66 m^3
Caudal Bombado	27 l/s 32 l/s

A descarga de emergência é feita numa linha de água que passa em frente à EE., passando primeiro por um poço sumidouro adjacente ao edifício, com 2 metros de diâmetro e 2,75 metros de altura (v. Figura 5.9).

Figura 5.9 – Poço Sumidouro (fonte: AdML)

5.2. REGISTOS DE CAUDAIS AFLUENTES

Conforme foi já referido, foram gentilmente cedidos pela AdML registos de dados que pudessem servir para experimentar o Programa desenvolvido. Assim obtiveram-se os registos dos caudais afluentes à EE de Afife durante cinco semanas: entre 10 de Dezembro de 2007 e 14 de Janeiro de 2008.

O dispositivo que se usou para recolher a informação registava, a cada segundo, o caudal instantâneo e, no final de uma hora, calculava a média dos caudais instantâneos. Ou seja, o mecanismo de que se dispunha não permitia recolher os acumulados de hora em hora mas, aplicando as médias horárias aos 3600 segundo de cada hora, obtêm-se caudais horários estimados com grande proximidade aos caudais reais bombeados. De facto, no período em apreço, o erro acumulado foi da ordem dos 0,80%, o que é perfeitamente negligenciável.

Esses registos são apresentados tal como foram fornecidos da AdML no Anexo A 5 e, separados por dias e semanas, no Anexo A 6.

Analisando os registos, verifica-se que, nas últimas semanas, os caudais são significativamente superiores. Isto deve-se à precipitação mais intensa e frequente que ocorreu nesses períodos. É que, apesar de ser um sistema separativo, na prática as ligações clandestinas e as infiltrações fazem com que tenha todos os inconvenientes de um sistema unitário: está mais sujeito a variações de caudal, em função do clima, e recebe maiores quantidades de areias (especialmente porque está perto da praia).

Infelizmente, até à data o SNIRH ainda não tinha disponibilizado no seu *"website"* dados meteorológicos suficientemente recentes para se poder incluir neste relatório (os últimos dados reportavam a 8 de Novembro de 2007 – http://snirh.pt).

5.3. EXPERIMENTAÇÃO DO PROGRAMA

Com os dias médios de cada uma das cinco semanas em que foram feitas as medições e com mais um dia médio relativo a todo o período de registos, fizeram-se as várias simulações para avaliar o desempenho da EE de Afife.

Uma vez que se trata de avaliar uma EE já em funcionamento, o procedimento foi adaptado:

- a Base de Dados dos Diâmetros foi reduzida a um único valor (o da conduta que existe);
- o Caudal Afluente é a média ponderada dos valores do Diagrama de Caudais Afluentes;
- o Caudal Bombado foi introduzido manualmente e corresponde ao valor conhecido do ponto de funcionamento do sistema elevatório;
- o Volume da Câmara de Aspiração deixou de ser uma variável: introduziram-se as respectivas medidas e o $V_{útil}$ resultou do produto das três dimensões.

As duas bombas instaladas elevam 27 l/s e 32 l/s. Quando uma bomba sozinha não era suficiente para dar resposta ao caudal de cálculo, o valor de Q_B introduzido era a soma destes dois, ou seja, 59 l/s.

Cada simulação obrigou ainda a um o ajuste das ponderações dos indicadores para a Análise de Desempenho. Por exemplo, como em nenhum dos casos o volume de água residual ultrapassava o volume útil, decidiu-se que seria desnecessário considerar esse Indicador. Assim, focava-se a análise naqueles parâmetros que efectivamente sofriam variações

Apresentam-se no Anexo A 7 os seis relatórios de cálculo correspondentes à avaliação preliminar.

5.4. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Foi importante ajustar as ponderações às diferentes simulações, para confrontar situações semelhantes e para avaliar apenas os aspectos que efectivamente influenciavam o funcionamento do sistema.

Nos dias médios das semanas 1, 2 e 3, o caudal afluente de cálculo era compatível com o funcionamento de uma só bomba, a de 27 l/s. Para o diâmetro existente, este caudal conduz a uma velocidade bastante favorável (0,97 m/s). O número máximo de arranques por hora é igual para todos os casos (15 arranques por hora) e é um valor aceitável.

No entanto, nas semanas 4 e 5, o caudal afluente só era conciliável com o funcionamento de ambas as bombas em simultâneo. Ora, nestas condições, para a mesma conduta, um caudal de 59 l/s conduzia a velocidades ligeiramente acima dos 2 m/s, valor que, embora aceitável, é elevado. Além disso, porque o volume útil do poço é reduzido, nas semanas 4 e 5 o número máximo de arranques por hora esteve acima do razoável.

Por fim, o dia médio referente ao período total de registos apresentava um caudal médio afluente que podia ser elevado pela bomba de 30 l/s. A velocidade aumentava, mas ainda dentro de valores aceitáveis (1,15 m/s). O número máximo de arranques por hora é admissível (apenas 17 arranques por hora).

O tempo de retenção nunca foi, em nenhum dos casos, superior a 30 minutos, o que é positivo.

As alterações das ponderações para comparar entre si as semanas 1 a 3 nunca iriam produzir alterações. As três situações são idênticas em todos os parâmetros e qualquer modificação acabaria por conduzir sempre à mesma solução. Contudo, era interessante comprar estas situações com a média do período completo, já que aí também só uma bomba funciona.

Nesse sentido, foi desejável conceber um padrão que desse maior peso, por esta ordem:

- à velocidade do escoamento;
- ao número de arranques por hora;
- à energia.

Já no caso das semanas 4 e 5, torna-se importante criar um novo padrão de ponderações que privilegiasse, por esta ordem:

- a velocidade (entendeu-se que, apesar de ser a mesma nos dois casos, por ser muito elevada deveria entrar como pontuação agravante)
- a energia (há uma situação claramente melhor que a outra);
- o número de arranques por hora;
- o tempo de retenção.

Como em nenhum dos casos houve problemas relacionados com o volume de água residual na câmara (nunca excedia o volume útil), decidiu-se anular o peso deste indicador.

Os novos padrões de ponderações adoptados são apresentados na Tabela 5.4 e na Tabela 5.5.

Os relatórios de cálculo ajustados às novas ponderações são apresentados no Anexo A 8.

Tabela 5.4 – Ajuste dos indicadores para as semanas 1, 2 e 3 e o período total

Indicador	Ponderação
Energia	10%
Volume na câmara	0%
N.º de arranques	30%
Tempo de retenção	10%
Velocidade	50%

Tabela 5.5 – Ajuste dos indicadores para as semanas 4 e 5

Indicador	Ponderação
Energia	40%
Volume na câmara	0%
N.º de arranques	15%
Tempo de retenção	5%
Velocidade	40%

Como era de prever, os resultados obtidos paras as semanas 4 e 5 são maus (respectivamente, 2,40 e 2,00). Isto acontece porque o volume útil da câmara não comporta uma afluência de caudais tão elevada como a de períodos de maior precipitação.

O período que abrange todos os registos é razoavelmente bom (3,80), mas a melhor solução é a que se refere aos períodos secos (4,40).

Claro que os caudais afluentes não devem atingir valores tão elevados por períodos muito prolongados, o que torna o fraco desempenho diagnosticado pelo programa menos importante. Mas mesmo assim, a eventual possibilidade em alterar esta situação tornaria melhor o funcionamento global do sistema.

Uma hipotética alternativa para mitigar os problemas ocorridos nas semanas 4 e 5, sem agravar o funcionamento nos restantes períodos, é a de aumentar o diâmetro da conduta elevatória de 200 para 250 mm. Realizando nova simulação, verificou-se que a velocidade mínima não ultrapassa os 0,70 m/s e, por outro lado, a máxima velocidade baixa para valores da ordem dos 1,50 m/s. O desempenho do sistema nestas circunstâncias melhorava significativamente nas semanas 4 e 5 (passavam para 3,20 e 2,80, respectivamente) e nas restantes semanas o único indicador que alterava para pior era o da velocidade, uma vez que esta decrescia até 0,62 m/s (e, estando abaixo da velocidade mínima regulamentar de 0,70 m/s, recebe uma pontuação nula). Contudo, o Decreto Regulamentar n.º 23/95 prevê que em situações excepcionais se permitam velocidades mais baixas, por isso, neste caso em particular, esta pode até ser uma velocidade aceitável.

Outras alternativas serão possíveis, como por exemplo, alterar o funcionamento das bombas através de reguladores de velocidade, por exemplo, não sendo, no entanto, o presente objectivo.

6

CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho permitiu a criação de uma ferramenta com interesse e utilidade para o dimensionamento hidráulico-sanitário de sistemas elevatórios de águas residuais e para a sua gestão operacional.

Como habitualmente, o dimensionamento hidráulico por si só é simples de tradução em números, mas a gestão das infra-estruturas orienta-se por valores de variáveis muito mais difíceis de quantificar. É preciso primeiro medir, comparar, avaliar a evolução do sistema e só depois diagnosticar avaliações de desempenho, a partir das quais se decide que aspectos precisam de ser alterados, melhorados, eliminados, etc.

Os Indicadores de Desempenho propostos pela IWA e pelo GRI são muito abrangentes e sobretudo vocacionados para aspectos de gestão de topo, exigindo por isso uma caracterização bastante minuciosa de diferentes áreas. Todavia, crê-se que os indicadores para avaliação de sistemas elevatórios, em particular os agora propostos, são uma contribuição para a progressão deste tema tão recente, apesar de relativamente simples e de requererem ainda muito mais desenvolvimento, monitorização, análise crítica, também, alguma maturação ou experiência.

Quanto ao Programa de Cálculo em si, procurou-se que a interface com o utilizador fosse *"user friendly"* e intuitiva. Tem-se a convicção que este objectivo foi atingido, apesar de se crer que a criação de uma barra de menus e ferramentas mais abrangente que a actual e presente em todas as páginas facilitaria significativamente a navegação.

Constitui sempre um objectivo, tornar as opções de cálculo práticas e versáteis, de forma a flexibilizar as diferentes possibilidades de simulação. Neste aspecto, tem-se também o entendimento de que este objectivo foi atingido com sucesso, tendo em conta o tempo disponível. Aliás, certas limitações do Programa podem ser contornadas com medidas inventivas: por exemplo, o facto de só funcionar com uma bomba de cada vez pode deixa de ser um problema se se proceder como no exemplo da aplicação prática desenvolvida. Recolhendo muitos dados e agrupando os dias mais parecidos, podem-se criar diferentes dias tipos, em que nuns uma bomba é suficiente, noutros será preciso duas bombas. Se se fizerem as simulações em separado, é possível analisar o funcionamento do sistema nas duas situações.

Mas, como acontece com qualquer aplicação que se desenvolva, há sempre aspectos que podem ser melhorados e o tempo disponível é a única restrição. Algumas melhorias a implementar seriam:

- adaptar o modelo para incluir o cálculo para bombas em paralelo, funcionando em simultâneo ou não de acordo com o caudal;

- alterar a plataforma do programa, uma vez que o novo Excel 2007 tornará, eventualmente, o Excel 2003 obsoleto;
- associar uma série de diâmetros a cada material da Base de Dados o que evitaria ao utilizador reescrever os diâmetros sempre houver lugar a mudança de material;
- aumentar o número de diagramas de caudais afluentes que o programa pode comportar;
- possibilitar ao utilizador para definir as restrições impostas na determinação do volume da câmara de aspiração (uma vez que não há normas regulamentares sobre o assunto);
- permitir ao utilizador alterar não só as ponderações dos indicadores mas também os limites de atribuição das pontuações;
- aprofundar a análise do fenómeno do choque hidráulico, permitindo ao utilizador a possibilidade de traçar o perfil da conduta elevatória e implementar métodos mais evoluídos e exactos como o Método das Características.

O investimento exigido pelas melhorias acima referidas seria largamente recompensado pelas vantagens que a utilização de uma ferramenta como estas representa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AdML. (17 de Janeiro de 2008). *Águas do Minho e Lima*. Obtido em 31 de Janeiro de 2008, de Águas do Minho e Lima, S.A.: http://www.aguasdominhoelima.pt

Apontamentos da Disciplina de Hidráulica Urbana e Ambiental. (2004). Porto: Secção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente - Departamento de Engenharia Civil - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Archimedes Screw - Wikipedia. (2007). Obtido em Outubro de 2007, de Wikipedia - the Free Encyclopedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes_Screw

Bankston, J. D. (2005). Pumping Stations. In *Water Encyclopaedia.* John Wiley & Sons.

Bentes, I. O. (1999). *Um Modelo para Análise do Funcionamento Hidráulico de Redes de Esgoto Sob Pressão.* Dissertação para Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

Betâmio de Almeida, A. (1990). Protecção Contra o Golpe de Aríete. In *Manual de Saneamento Básico* (Vol. 1). Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais - Direcção Geral dos Recursos Naturais.

Ciclo Hidrológico - Wikipédia. (2007). Obtido em Outubro de 2007, de Wikipédia - a Enciclopédia Livre: http://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_hidrológico

Consorcio de Aguas de Asturias. (2007). *Consorcio para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento en el Principado de Asturias*. Obtido em 30 de Outubro de 2007, de http://www.consorcioaa.com

Darcy-Weisbach equation - Wikipedia. (2008). Obtido em Janeiro de 2008, de Wikipedia - the Free Encyclopedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Darcy-Weisbach_equation

Decreto Regulamentar n.º 23/95. (23 de Agosto de 1995). *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais* , pp. 5284-5319. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações: Diário da República n.º 194/95 SÉRIE I-B.

DGA - Direcção de Serviços de Informação e Creditação. (Dezembro de 2000). Proposta para um Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável. *Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS 2002)* . Lisboa: Direcção Geral do Ambiente.

Diciopédia 2004. Parafuso de Arquimedes. In *Diciopédia 2004: o Poder do Conhecimento.* Porto: Porto Editora Multimedia.

Dorling Kindersley Limited. (2007). *Archimedes Screw*. Obtido em Outubro de 2007, de DK Images: The Image Encyclopaedia: http://www.dkimages.com

Galvão, A. F. (2002). *Contribuição para o Desenvolvimento de Indicadores de Desempenho de Sistemas de Águas Residuais.* Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão da Tecnologia, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Grundfos. (2005). Estações Elevatórias - Águas Residuais. *Manual de Engenharia* .

ISO/DIS 24511. (2006). Guidelines for the management of wastewater utilities and for the assessment of wastewater services. *Service activities relating to drinking water and wastewater* . International Organization for Standardization.

Jones, G. M. (2006). System Design for Wastewater Pumping. In G. M. Jones, *Pumping Station Design* (3ª Edição ed.). Elsevier.

MAOT. (2007-2013). PEAASAR II. *Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais* . Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território.

Matos, R. et al. (2004). *Indicadores de Desempenho para Serviços de Águas Residuais.* Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil & Instituto Regulador de Águas e Resíduos.

Nalluri, C., & Featherstone, R. E. (2001). *Civil Engineering Hydraulics* (4ª ed.). Oxford, Reino Unido: The Blackwell Science.

Novais-Barbosa, J. (1986). *Mecânica dos Fluidos e Hidráulica Geral* (Vol. 1). Porto: Porto Editora.

Patto, J. V. (1990). Estações e Condutas Elevatórias de Água Residual. In *Manual de Saneamento Básico* (Vol. 2). Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais - Direcção Geral dos Recursos Naturais.

Ribeiro de Sousa, E. A., & Saldanha Matos, J. M. (1990). Ocorrência, Efeitos e Controlo de Septicidade em Colectores. In *Manual de Saneamento Básico* (Vol. 2). Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais - Direcção Geral dos Recursos Naturais.

SNIRH. (2008). *SNIRH > Dados de Base > Rede Metereológica*. Obtido em 31 de Janeiro de 2008, de Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos: http://snirh.pt/snirh.php?main_id=2&item=1&objlink=&objrede=METEO

Tentúgal Valente, J. (1989). *Apontamentos sobre Estações Elevatórias de Águas Residuais.* Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, Porto.

Térreo, G. (Dezembro de 2006). Directrizes para Relatório de Sustentabilidade. São Paulo, Brasil: Global Reporting Initiative.

Yeomans Pump. (2007). Obtido em Outubro de 2007, de Yeomans Pump: http://www.yeomanspump.com

Yeomans Pump. (Agosto de 2002). *Yeomans Shone: Series 4000 Pneumatic Ejectors.* Obtido em Outubro de 2007, de Yeomans Pump: http://www.yeomanspump.com

ANEXOS

Anexo A 1: Exemplo de um relatório de cálculo e de diagramas.

Anexo A 2: Tarifário da Energia Eléctrica, Diâmetros e Materiais predefinidos na Base de Dados.

Anexo A 3: Indicadores de Desempenho da IWA seleccionados.

Anexo A 4: Indicadores de Desempenho da GRI seleccionados.

Anexo A 5: Registos de volumes horários de águas residuais afluentes à Estação Elevatória de Afife entre 10-12-2007 e 14-01-2008.

Anexo A 6: Registos da Estação Elevatória de Afife separados por semanas, incluindo a determinação da média de caudais afluentes em cada semana e durante o registo todo.

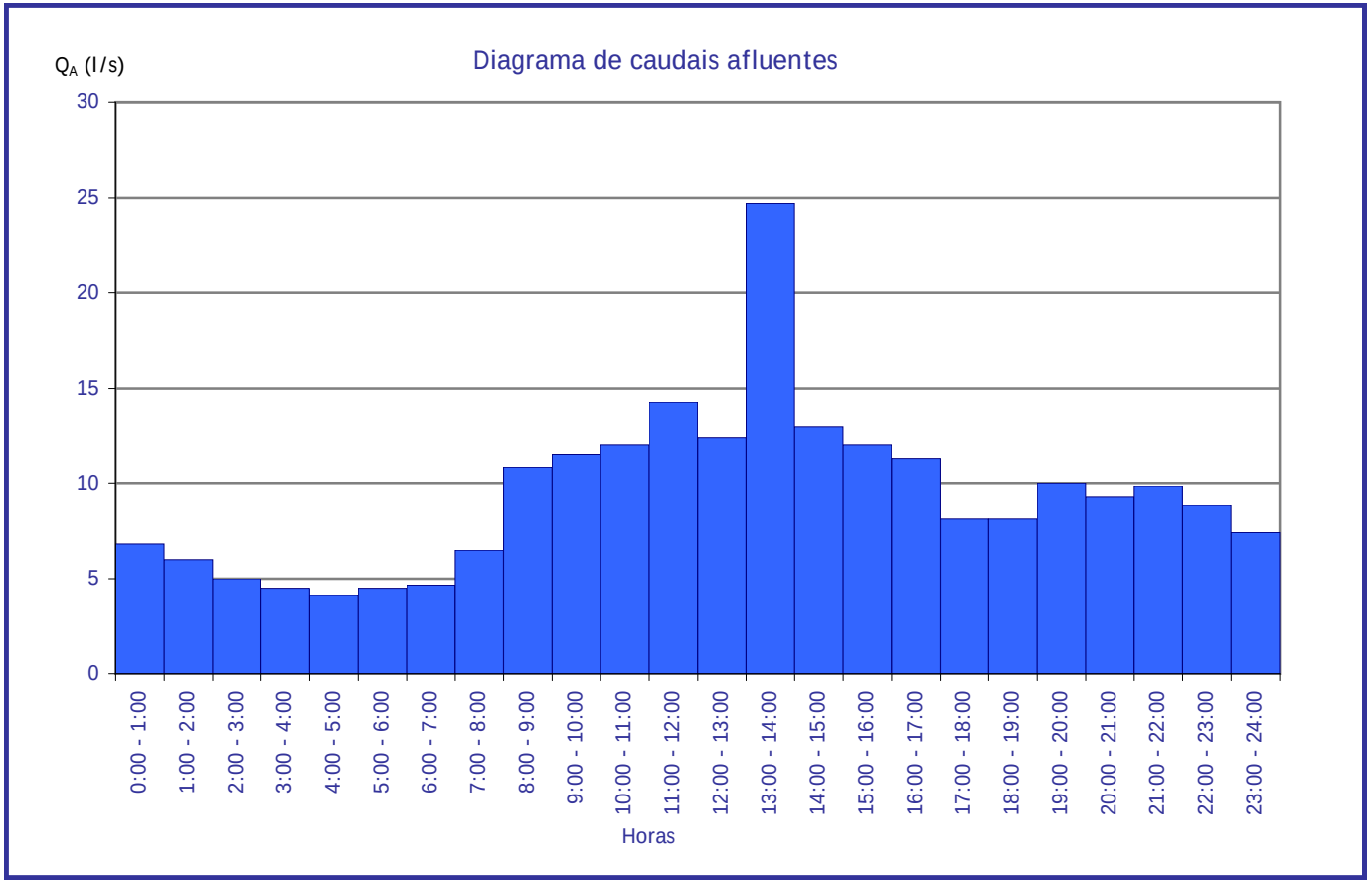
Anexo A 7: Relatórios de cálculo (*"output"* do Programa) para um dia tipo por cada uma das 5 semanas de registos e para um dia médio calculado em relação ao período total.

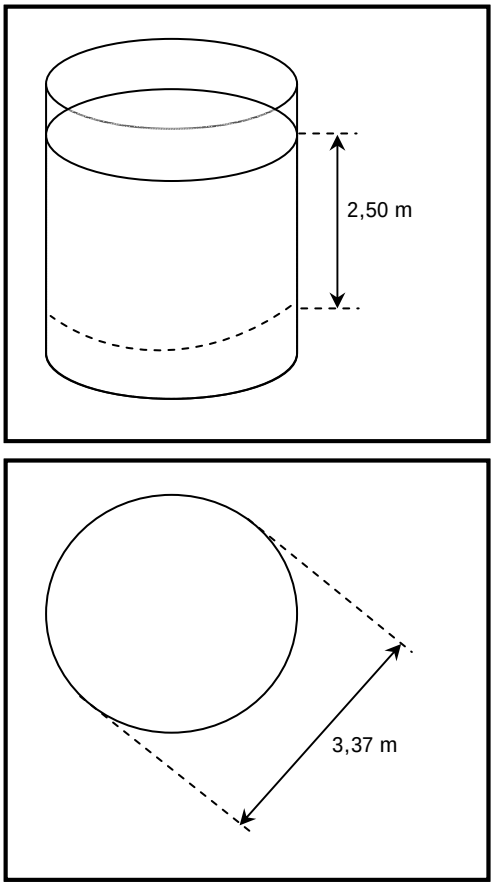
Anexo A 8: Relatórios de cálculo ajustados com novas ponderações.

A 1

• **Um dia tipo**

Horas	Q_A (l/s)
0:00 - 1:00	6,8
1:00 - 2:00	6,0
2:00 - 3:00	5,0
3:00 - 4:00	4,5
4:00 - 5:00	4,2
5:00 - 6:00	4,5
6:00 - 7:00	4,7
7:00 - 8:00	6,5
8:00 - 9:00	10,8
9:00 - 10:00	11,5
10:00 - 11:00	12,0
11:00 - 12:00	14,3
12:00 - 13:00	12,4
13:00 - 14:00	24,7
14:00 - 15:00	13,0
15:00 - 16:00	12,0
16:00 - 17:00	11,3
17:00 - 18:00	8,1
18:00 - 19:00	8,1
19:00 - 20:00	10,0
20:00 - 21:00	9,3
21:00 - 22:00	9,9
22:00 - 23:00	8,9
23:00 - 24:00	7,4




2,50 m
3,37 m

Modelação Hidráulica da Exploração de Sistemas Elevatórios de Águas Residuais

versão 0 | 2008-02-04

Caudal afluente - Q_A:	18,6 l/s
Caudal bombado - Q_B:	22,4 l/s

Conduta Elevatória

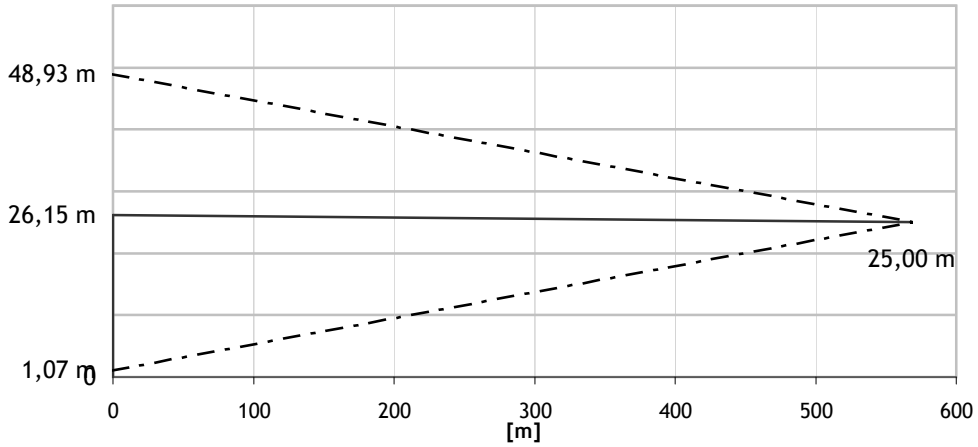
Material:	Betão
Diâmetro:	Ø200 (192,0 mm)
Inclinação - i:	2,0%
Extensão - L:	567,90 m

Velocidade do Escoamento - U:	0,77 m/s
Desnível geométrico - Δz:	25,00 m
Perda de carga unitária - j:	0,002 m/m
Perdas de carga localizadas - ΔH_{Loc}:	0,02 m
Perda de carga TOTAL - ΔH_{TOTAL}:	1,15 m
Altura manométrica - H_M:	26,15 m

Análise do Choque Hidráulico:

Celeridade - a:	560,6 m/s
Fase - μ:	2,03 s
Tempo de anulação do caudal (Rosich) - T:	3,56 s
Classificação da manobra →	Manobra Lenta
Variação máx. da linha de energia - ΔH_{CH}:	25,08 m

Linha de Energia e Envolvente do Choque Hidráulico

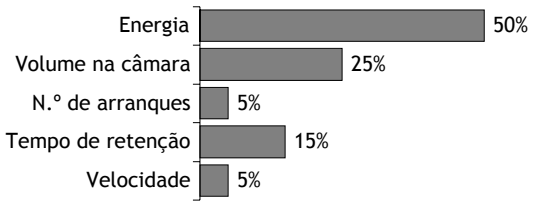


Câmara de Aspiração

Tempo de enchimento da câmara de aspiração	t_1	1 200 s	20,0 min	0,33 h
Tempo de funcionamento da bomba (por ciclo)	t_2	6 000 s	100,0 min	1,67 h
Tempo que a partícula demora a percorrer a conduta	t_3	735 s	12,3 min	0,20 h
Tempo que a partícula se encontra parada na conduta	t_4	1 200 s	20,0 min	0,33 h
Número de ciclos	ω		0,12	
Tempo de retenção na conduta	t_c	1 935 s	32,3 min	0,54 h
Número de arranques, por unidade de tempo	Z	0 /s	0,0 /min	0,50 /h

Análise de Desempenho

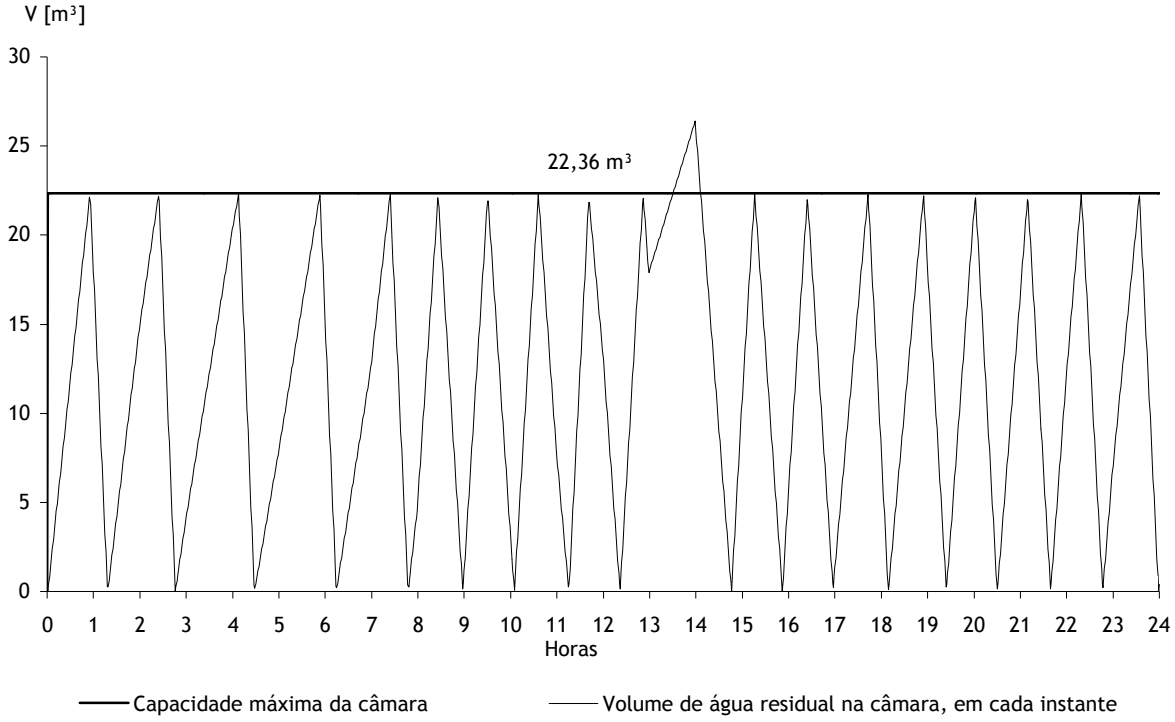
Ponderação dos Indicadores:



Contribuição de cada Indicador:

Energia	(0,64)	4
Volume na câmara	(8,08)	0
Nº de arranques	(2 /h)	5
Tempo de retenção	(32 min)	4
Velocidade	(0,77 m/s)	5
Índice de desempenho global		3,10

Volume de Água Residual na Câmara de Aspiração (sem contar com o Volume de Reserva)



Identificação do Projecto:

Exemplo

A 2

Tarifa eléctrica	
Horas	Preço kW·h
0:00 - 1:00	0,043 €
1:00 - 2:00	0,043 €
2:00 - 3:00	0,040 €
3:00 - 4:00	0,040 €
4:00 - 5:00	0,040 €
5:00 - 6:00	0,040 €
6:00 - 7:00	0,043 €
7:00 - 8:00	0,066 €
8:00 - 9:00	0,066 €
9:00 - 10:00	0,066 €
10:00 - 11:00	0,110 €
11:00 - 12:00	0,110 €
12:00 - 13:00	0,066 €
13:00 - 14:00	0,066 €
14:00 - 15:00	0,066 €
15:00 - 16:00	0,066 €
16:00 - 17:00	0,066 €
17:00 - 18:00	0,066 €
18:00 - 19:00	0,066 €
19:00 - 20:00	0,110 €
20:00 - 21:00	0,110 €
21:00 - 22:00	0,066 €
22:00 - 23:00	0,066 €
23:00 - 24:00	0,066 €

Diâmetros [mm]	
D_{ext}	D_{int}
Ø125	120,0
Ø140	134,4
Ø160	153,6
Ø200	192,0
Ø250	240,2
Ø315	302,6
Ø400	384,2
Ø500	480,4
Ø630	605,2
Ø710	682,0
Ø800	768,6

Materiais			
N.º	Designação	E [MPa]	k [mm]
1	Betão	20 000	1
2	Ferro Fundido Dúctil	170 000	0,1
3	PEAD PE-100	1 400	0,001
4	PP corrugado	1 250	0,1
5	PVC	3 000	0,01

A 3

Fonte: (Indicadores de Desempenho para Serviços de Águas Residuais, 2004)

Categoria	Indicador		
Ambientais wEn	Águas Residuais	wEn3	Frequência de descargas de excedentes (n.º/descarregador/ano)
		wEn4	Volume de descargas de excedentes (m^3/descarregador/ano)
	Resíduos Sólidos	wEn14	Remoção de gradados e areias (ton/km colector/ano)
Recursos Humanos wPe	Pessoal Total	wPe2	Pessoal afecto à rede de drenagem por comprimento de colector (n.º/100 km colector)
	Pessoal por Função Principal	wPe7	Pessoal afecto à gestão técnica (%)
		wPe9	Pessoal afecto à operação e manutenção (%)
	Pessoal Afecto à Gestão Técnica por Tipo de Actividade	wPe11	Pessoal técnico afecto ao sistema de drenagem (n.º/100 km colector)
	Qualificação do Pessoal	-	-
	Formação do Pessoal	-	-
	Vacinação, Saúde e Segurança do Pessoal	wPe19	Pessoal com formação reconhecida para trabalhar em espaços confinados (%)
	Absentismo	-	-
	Horas Extraordinárias	-	-
Infra-Estruturais wPh	Tratamento de Águas Residuais	-	-
	Drenagem por Colectores	wPh5	Entrada em carga de colectores em tempo seco (%)
		wPh6	Entrada de carga de colectores em tempo de chuva (%)
	Bombeamento	wPh8	Potência de bombagem utilizada no sistema de drenagem (%)
		wPh10	Utilização da capacidade de bombagem do sistema de drenagem (%)
	Automação e Controlo	wPh11	Grau de automação do sistema (%)
		wPh12	Grau de controlo remoto do sistema (%)

(continua)

(continuação)

Categoria	Indicador		
Operacionais wOp	Inspecção e Manutenção do Sistema de Drenagem	wOp1	Inspecção de colectores (%/ano)
		wOp2	Limpeza de colectores (%/ano)
	Inspecção de Bombas e Grupos Electrobomba	wOp10	Frequência de inspecção de instalações elevatórias (-/ano)
		wOp11	Inspecção de grupos electrobomba (-/ano)
	Calibração de Equipamentos	wOp12	Calibração de medidores de caudal da rede de drenagem (-/ano)
		wOp14	Calibração de equipamentos de monitorização da qualidade das águas residuais (-/ano)
	Inspecção de Equipamento Eléctrico	wOp15	Inspecção de equipamentos de emergência (-/ano)
	Consumo de Energia	wOp20	Consumo de energia normalizado (kWh/e.p./ano)
	Reabilitação do Sistema de Drenagem	wOp21	Reabilitação de colectores (%/ano)
	Reabilitação de Grupos Electrobomba	wOp28	Recuperação de grupos electrobomba (%/ano)
		wOp29	Substituição de grupos electrobomba (%/ano)
	Infiltração/Exfiltração e Ligações Indevidas	wOp30	Infiltração/exfiltração e ligações indevidas (%)
		wOp31	Ligações indevidas (m^3/km/ano)
		wOp32	Infiltração (m^3/km/ano)
		wOp33	
	Falhas	wOp34	Obstruções em colectores (n.º/100 km/ano)
		wOp36	Obstruções em instalações elevatórias (n.º/instalação elevatória)
		wOp41	Falhas de bombagem (h/bomba/ano)
		wOp42	Falhas no fornecimento de energia (h/instalação elevatória/ano)
	Regulação de Descarregadores	-	-
	Monitorização da Qualidade das Águas Residuais e de Lamas	wOp44	Análises realizadas (-/ano)
	Equipamentos de Segurança	wOp55	Detectores de gases (por empregados afectos à manutenção e operação)

(continua)

(continuação)

Categoria	Indicador		
Qualidade de Serviço wQS	População Servida	wQS1	População residente com ligação ao sistema de drenagem (%)
		wQS4	População residente não servida (%)
	Águas Residuais Tratadas	-	-
	Inundações	-	-
	Interrupções de Serviço	wQS15	Interrupções do serviço de drenagem (%)
	Resposta a Solicitações de Clientes	-	-
	Reclamações	wQS19	Reclamações de serviço (n.º/1000 hab./ano)
		wQS27	Resposta a reclamações (%)
	Danos Causados a Terceiros	-	-
	Perturbações no Tráfego	-	-
Económico-Financeiros wFi	Proveitos	wFi1	Proveito unitário (US$/e.p./ano)
	Custos	wFi5	Custo unitário total por equivalente de população (US$/e.p./ano)
		wFi6	Custo unitário total por comprimento de colector (US$/km colector/ano)
	Composição dos Custos Correntes por Tipo de Custo	wFi11	Custos de pessoal (%)
		wFi13	Custos de energia eléctrica (%)
		wFi14	Custos de materiais, reagentes e consumíveis (%)
	Composição dos Custos Correntes por Tipo de Função da Entidade Gestora / por Tipo de Actividades	-	-
	Composição dos Custos de Capital		
	Investimento	wFi27	Investimento unitário (US$/e.p./ano)
	Indicadores de Eficiência	wFi30	Rácio de cobertura dos custos (-)
	Indicadores de “Alavancagem”, Liquides e Rendibilidade	-	-

A 4

Fonte: (Directrizes para Relatório de Sustentabilidade, 2006)

Categoria	Aspectos		
Económico EC	Desempenho Económico	EC1	Valor económico gerado e distribuído, incluindo receitas, custos operacionais, remuneração de empregados, doações e outros investimentos na comunidade, lucros acumulados e pagamentos para provedores de capital e governos
	Presença no Mercado	-	-
	Impactos Económicos Indirectos	EC8	Desenvolvimento e impacto de investimentos em infra-estruturas e serviços oferecidos, principalmente para benefício público
Ambiental EN	Materiais	EN1	Materiais usados por peso ou volume
		EN2	Percentagem dos materiais usados provenientes de reciclagem
	Energia	EN3	Consumo directo de energia, discriminado por fonte de energia primária
		EN4	Consumo indirecto de energia, discriminado por fonte de energia primária
		EN5	Energia economizada devido a melhorias em conservação e eficiência
	Água	-	-
	Biodiversidade	-	-
	Emissões, Efluentes e Resíduos	EN22	Peso total de resíduos, por tipo e método de disposição
	Produtos e Serviços	EN26	Iniciativas para mitigar os impactos ambientais de produtos e serviços e a extensão da redução desses impactos
	Conformidade	EN28	Valor monetário de multas significativas e número total de sanções não-monetárias resultantes da não conformidade com leis e regulamento ambientais
	Transporte	EN29	Impactos ambientais significativos do transporte de produtos e outros bens e materiais utilizados nas operações da organização, bem como do transporte dos trabalhadores
	Geral	EN30	Total de investimentos e gastos em protecção ambiental, por tipo

(continua)

(continuação)

Categoria	Aspectos		
Direitos Humanos HR	Práticas de Investimento e de Processos de Compra	-	-
	Não Discriminação	-	-
	Liberdade de Associação e Negociação Colectiva	-	-
	Trabalho Infantil	-	-
	Trabalho Forçado ou Análogo ao Escravo	-	-
	Práticas de Segurança	-	-
	Direitos Indígenas	-	-
Responsabilidade pelo Produto PR	Emprego	LA1	Total de trabalhadores por tipo de emprego, contrato de trabalho e região
		LA2	Número total e taxa de rotatividade de empregados por faixa etária, género e região
	Relações entre os Trabalhadores e a Chefia	-	-
	Segurança e Saúde no Trabalho	LA7	Taxas de lesões, doenças ocupacionais, dias perdidos, ausências e óbitos relacionados com o trabalho, por região
	Formação e Educação	LA10	Média de horas de formação por ano, por empregado, discriminadas por categoria funcional
		LA12	Percentagem de empregados que recebem regularmente análises de desempenho e de desenvolvimento de carreira
	Diversidade e Igualdade de Oportunidades	-	-

(continua)

(continuação)

Categoria	Aspectos		
Responsabilidade pelo Produto PR	Saúde e Segurança do Cliente	PR2	Número total de casos de não-conformidade com regulamentos e códigos voluntários relacionados com os impactos causados por produtos e serviços na saúde e segurança durante o ciclo de vida, discriminados por tipo de resultado
	Rotulagem de Produtos e Serviços	-	-
	Comunicações de Marketing	-	
	Privacidade do Cliente	-	-
	Conformidade	PR9	Valor monetário de multas (significativas) por não-conformidade com leis e regulamentos relativos ao fornecimento e uso de produtos e serviços
Sociedade SO	Comunidade	SO1	Natureza, âmbito e eficácia de quaisquer programas e práticas para avaliar e gerir os impactos das operações nas comunidades, incluindo a entrada, operação e saída
	Corrupção	SO2	Percentagem e número total de unidades de negócios submetidas a avaliações de riscos relacionados com a corrupção
	Políticas Públicas	-	-
	Concorrência Desleal	-	-
	Conformidade	SO8	Valor monetário de multas significativas e número total de sanções não-monetárias resultantes da não-conformidade com leis e regulamentos

A 5

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]	
1	10-12-2007	11:38:59	4,573	5	*330 382 m³*
2	10-12-2007	12:38:59	5,876	18	
3	10-12-2007	13:38:59	5,407	13	
4	10-12-2007	14:38:59	5,627	15	
5	10-12-2007	15:38:59	5,638	15	
6	10-12-2007	16:38:59	5,370	13	
7	10-12-2007	17:38:59	5,541	14	
8	10-12-2007	18:38:59	5,250	12	
9	10-12-2007	19:38:59	4,912	9	
10	10-12-2007	20:38:59	5,223	11	
11	10-12-2007	21:38:59	5,257	12	
12	10-12-2007	22:38:59	5,319	12	
13	10-12-2007	23:38:59	5,161	11	
14	11-12-2007	0:38:59	4,909	9	
15	11-12-2007	1:38:59	4,895	8	
16	11-12-2007	2:38:59	4,877	8	
17	11-12-2007	3:38:59	4,576	5	
18	11-12-2007	4:38:59	4,569	5	
19	11-12-2007	5:38:59	4,574	5	
20	11-12-2007	6:38:59	4,571	5	
21	11-12-2007	7:38:59	4,573	5	
22	11-12-2007	8:38:59	4,895	8	
23	11-12-2007	9:38:59	5,595	15	
24	11-12-2007	10:38:59	5,609	15	
25	11-12-2007	11:38:59	5,255	12	
26	11-12-2007	12:38:59	5,626	15	
27	11-12-2007	13:38:59	5,254	12	
28	11-12-2007	14:38:59	5,580	15	
29	11-12-2007	15:38:59	5,471	14	
30	11-12-2007	16:38:59	5,352	13	
31	11-12-2007	17:38:59	5,210	11	
32	11-12-2007	18:38:59	4,880	8	
33	11-12-2007	19:38:59	4,871	8	
34	11-12-2007	20:38:59	5,204	11	
35	11-12-2007	21:38:59	5,222	11	
36	11-12-2007	22:38:59	4,942	9	
37	11-12-2007	23:38:59	5,186	11	
38	12-12-2007	0:38:59	4,883	8	
39	12-12-2007	1:38:59	4,585	5	
40	12-12-2007	2:38:59	4,862	8	
41	12-12-2007	3:38:59	4,564	5	
42	12-12-2007	4:38:59	4,464	4	
43	12-12-2007	5:38:59	4,390	4	
44	12-12-2007	6:38:59	4,564	5	
45	12-12-2007	7:38:59	4,574	5	
46	12-12-2007	8:38:59	4,885	8	
47	12-12-2007	9:38:59	5,602	15	
48	12-12-2007	10:38:59	5,404	13	
49	12-12-2007	11:38:59	5,464	14	
50	12-12-2007	12:38:59	5,604	15	
51	12-12-2007	13:38:59	4,919	9	
52	12-12-2007	14:38:59	5,381	13	
53	12-12-2007	15:38:59	5,420	13	

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]	
54	12-12-2007	16:38:59	5,255	12	
55	12-12-2007	17:38:59	5,231	12	
56	12-12-2007	18:38:59	4,893	8	
57	12-12-2007	19:38:59	4,892	8	
58	12-12-2007	20:38:59	5,205	11	
59	12-12-2007	21:38:59	4,935	9	
60	12-12-2007	22:38:59	5,229	12	
61	12-12-2007	23:38:59	4,909	9	
62	13-12-2007	0:38:59	4,901	8	
63	13-12-2007	1:38:59	4,882	8	
64	13-12-2007	2:38:59	4,582	5	
65	13-12-2007	3:38:59	4,577	5	
66	13-12-2007	4:38:59	4,571	5	
67	13-12-2007	5:38:59	4,571	5	
68	13-12-2007	6:38:59	4,572	5	
69	13-12-2007	7:38:59	4,577	5	
70	13-12-2007	8:38:59	4,870	8	
71	13-12-2007	9:38:59	5,329	12	
72	13-12-2007	10:38:59	5,273	12	
73	13-12-2007	11:38:59	5,606	15	
74	13-12-2007	12:38:59	5,306	12	
75	13-12-2007	13:38:59	5,207	11	
76	13-12-2007	14:38:59	5,243	12	
77	13-12-2007	15:38:59	5,651	15	
78	13-12-2007	16:38:59	5,288	12	
79	13-12-2007	17:38:59	5,201	11	
80	13-12-2007	18:38:59	4,889	8	
81	13-12-2007	19:38:59	4,898	8	
82	13-12-2007	20:38:59	5,030	10	
83	13-12-2007	21:38:59	5,108	10	
84	13-12-2007	22:38:59	4,908	9	
85	13-12-2007	23:38:59	4,901	8	
86	14-12-2007	0:38:59	4,884	8	
87	14-12-2007	1:38:59	4,879	8	
88	14-12-2007	2:38:59	4,583	5	
89	14-12-2007	3:38:59	4,577	5	
90	14-12-2007	4:38:59	4,567	5	
91	14-12-2007	5:38:59	4,280	3	
92	14-12-2007	6:38:59	4,566	5	
93	14-12-2007	7:38:59	4,282	3	
94	14-12-2007	8:38:59	4,875	8	
95	14-12-2007	9:38:59	5,226	11	
96	14-12-2007	10:38:59	5,237	12	
97	14-12-2007	11:38:59	4,918	9	
98	14-12-2007	12:38:59	5,236	12	
99	14-12-2007	13:38:59	4,913	9	*331 334 m³*

Total = 945 m³ Diferença = 952 m³

0,74%

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]	
1	14-12-2007	14:35:57	14,913	89	*331 334 m³*
2	14-12-2007	15:35:57	4,931	8	
3	14-12-2007	16:35:57	4,893	7	
4	14-12-2007	17:35:57	4,890	7	
5	14-12-2007	18:35:57	4,818	7	
6	14-12-2007	19:35:57	4,659	5	
7	14-12-2007	20:35:57	5,065	9	
8	14-12-2007	21:35:57	5,031	8	
9	14-12-2007	22:35:57	4,902	7	
10	14-12-2007	23:35:57	4,891	7	
11	15-12-2007	0:35:57	4,890	7	
12	15-12-2007	1:35:57	4,584	5	
13	15-12-2007	2:35:57	4,571	5	
14	15-12-2007	3:35:57	4,565	5	
15	15-12-2007	4:35:57	4,491	4	
16	15-12-2007	5:35:57	4,354	3	
17	15-12-2007	6:35:57	4,286	2	
18	15-12-2007	7:35:57	4,563	5	
19	15-12-2007	8:35:57	4,576	5	
20	15-12-2007	9:35:57	4,583	5	
21	15-12-2007	10:35:57	5,235	10	
22	15-12-2007	11:35:57	5,329	11	
23	15-12-2007	12:35:57	5,204	10	
24	15-12-2007	13:35:57	5,549	18	
25	15-12-2007	14:35:57	5,275	11	
26	15-12-2007	15:35:57	5,475	16	
27	15-12-2007	16:35:57	5,407	16	
28	15-12-2007	17:35:57	5,238	12	
29	15-12-2007	18:35:57	4,913	7	
30	15-12-2007	19:35:57	5,225	10	
31	15-12-2007	20:35:57	5,223	10	
32	15-12-2007	21:35:57	4,924	8	
33	15-12-2007	22:35:57	5,232	10	
34	15-12-2007	23:35:57	4,896	7	
35	16-12-2007	0:35:57	4,891	7	
36	16-12-2007	1:35:57	4,882	7	
37	16-12-2007	2:35:57	4,586	5	
38	16-12-2007	3:35:57	4,609	5	
39	16-12-2007	4:35:57	4,548	4	
40	16-12-2007	5:35:57	4,573	5	
41	16-12-2007	6:35:57	4,568	5	
42	16-12-2007	7:35:57	4,567	5	
43	16-12-2007	8:35:57	4,281	2	
44	16-12-2007	9:35:57	4,870	7	
45	16-12-2007	10:35:57	4,922	7	
46	16-12-2007	11:35:57	5,623	18	
47	16-12-2007	12:35:57	5,550	18	
48	16-12-2007	13:35:57	5,396	15	
49	16-12-2007	14:35:57	5,629	18	
50	16-12-2007	15:35:57	5,278	10	
51	16-12-2007	16:35:57	5,301	11	
52	16-12-2007	17:35:57	5,234	12	
53	16-12-2007	18:35:57	4,916	7	

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]
54	16-12-2007	19:35:57	5,085	9
55	16-12-2007	20:35:57	5,040	8
56	16-12-2007	21:35:57	4,921	7
57	16-12-2007	22:35:57	5,251	10
58	16-12-2007	23:35:57	5,126	9
59	17-12-2007	0:35:57	4,673	5
60	17-12-2007	1:35:57	4,884	7
61	17-12-2007	2:35:57	4,578	5
62	17-12-2007	3:35:57	4,578	5
63	17-12-2007	4:35:57	4,572	5
64	17-12-2007	5:35:57	4,570	5
65	17-12-2007	6:35:57	4,288	2
66	17-12-2007	7:35:57	4,572	5
67	17-12-2007	8:35:57	4,809	7
68	17-12-2007	9:35:57	5,321	14
69	17-12-2007	10:35:57	5,486	16
70	17-12-2007	11:35:57	6,055	21
71	17-12-2007	12:35:57	5,593	19
72	17-12-2007	13:35:57	5,406	16
73	17-12-2007	14:35:57	5,310	14
74	17-12-2007	15:35:57	5,642	16
75	17-12-2007	16:35:57	5,295	14
76	17-12-2007	17:35:57	5,328	14
77	17-12-2007	18:35:57	5,206	10
78	17-12-2007	19:35:57	5,185	10
79	17-12-2007	20:35:57	4,979	8
80	17-12-2007	21:35:57	5,253	10
81	17-12-2007	22:35:57	5,159	9
82	17-12-2007	23:35:57	5,039	8
83	18-12-2007	0:35:57	4,920	7
84	18-12-2007	1:35:57	4,909	7
85	18-12-2007	2:35:57	4,597	5
86	18-12-2007	3:35:57	4,586	5
87	18-12-2007	4:35:57	4,584	5
88	18-12-2007	5:35:57	4,583	5
89	18-12-2007	6:35:57	4,583	5
90	18-12-2007	7:35:57	4,293	2
91	18-12-2007	8:35:57	4,895	7
92	18-12-2007	9:35:57	5,294	11
93	18-12-2007	10:35:57	5,647	19
94	18-12-2007	11:35:57	5,302	14
95	18-12-2007	12:35:57	5,636	19
96	18-12-2007	13:35:57	5,268	10
97	18-12-2007	14:35:57	5,280	11
98	18-12-2007	15:35:57	5,296	11
99	18-12-2007	16:35:57	6,555	20
100	18-12-2007	17:35:57	5,652	15
101	18-12-2007	18:35:57	6,910	24
102	18-12-2007	19:35:57	9,435	44
103	18-12-2007	20:35:57	10,293	51
104	18-12-2007	21:35:57	7,537	32
105	18-12-2007	22:35:57	6,499	25
106	18-12-2007	23:35:57	5,760	19

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]	
107	19-12-2007	0:35:57	5,296	11	
108	19-12-2007	1:35:57	5,267	10	
109	19-12-2007	2:35:57	5,276	11	
110	19-12-2007	3:35:57	6,094	20	
111	19-12-2007	4:35:57	5,713	16	
112	19-12-2007	5:35:57	5,630	13	
113	19-12-2007	6:35:57	4,934	8	
114	19-12-2007	7:35:57	5,240	10	
115	19-12-2007	8:35:57	5,263	10	
116	19-12-2007	9:35:57	5,667	14	
117	19-12-2007	10:35:57	5,734	14	
118	19-12-2007	11:35:57	5,603	13	
119	19-12-2007	12:35:57	5,570	13	
120	19-12-2007	13:35:57	5,249	10	
121	19-12-2007	14:35:57	5,515	12	
122	19-12-2007	15:35:57	5,244	10	
123	19-12-2007	16:35:57	5,232	10	
124	19-12-2007	17:35:57	5,215	10	
125	19-12-2007	18:35:57	5,212	10	
126	19-12-2007	19:35:57	5,095	9	
127	19-12-2007	20:35:57	5,349	11	
128	19-12-2007	21:35:57	5,240	10	
129	19-12-2007	22:35:57	5,229	10	
130	19-12-2007	23:35:57	5,216	10	
131	20-12-2007	0:35:57	4,924	8	
132	20-12-2007	1:35:57	5,169	9	
133	20-12-2007	2:35:57	4,878	7	
134	20-12-2007	3:35:57	4,572	5	
135	20-12-2007	4:35:57	4,571	5	
136	20-12-2007	5:35:57	4,572	5	
137	20-12-2007	6:35:57	4,573	5	
138	20-12-2007	7:35:57	4,856	7	
139	20-12-2007	8:35:57	4,664	5	
140	20-12-2007	9:35:57	5,132	9	
141	20-12-2007	10:35:57	5,447	12	
142	20-12-2007	11:35:57	5,389	11	*332 893 m³*
				Total = 1 548 m³	Diferença = 1 559 m³
					0,71%

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]	
1	20-12-2007	12:04:52	4,008	2	*332893*
2	20-12-2007	13:04:52	5,557	15	
3	20-12-2007	14:04:52	5,252	12	
4	20-12-2007	15:04:52	5,442	14	
5	20-12-2007	16:04:52	5,439	14	
6	20-12-2007	17:04:52	5,274	12	
7	20-12-2007	18:04:52	5,216	12	
8	20-12-2007	19:04:52	5,205	12	
9	20-12-2007	20:04:52	4,899	9	
10	20-12-2007	21:04:52	5,225	12	
11	20-12-2007	22:04:52	5,246	12	
12	20-12-2007	23:04:52	5,237	12	
13	21-12-2007	0:04:52	4,912	9	
14	21-12-2007	1:04:52	5,200	12	
15	21-12-2007	2:04:52	4,890	9	
16	21-12-2007	3:04:52	4,583	7	
17	21-12-2007	4:04:52	4,759	8	
18	21-12-2007	5:04:52	4,668	7	
19	21-12-2007	6:04:52	4,522	6	
20	21-12-2007	7:04:52	4,617	7	
21	21-12-2007	8:04:52	4,577	7	
22	21-12-2007	9:04:52	4,897	9	
23	21-12-2007	10:04:52	5,237	12	
24	21-12-2007	11:04:52	5,577	15	
25	21-12-2007	12:04:52	5,263	12	
26	21-12-2007	13:04:52	5,571	15	
27	21-12-2007	14:04:52	5,231	12	
28	21-12-2007	15:04:52	5,568	15	
29	21-12-2007	16:04:52	5,268	12	
30	21-12-2007	17:04:52	5,109	11	
31	21-12-2007	18:04:52	5,045	10	
32	21-12-2007	19:04:52	4,921	9	
33	21-12-2007	20:04:52	4,955	10	
34	21-12-2007	21:04:52	5,219	12	
35	21-12-2007	22:04:52	5,342	13	
36	21-12-2007	23:04:52	5,186	12	
37	22-12-2007	0:04:52	5,247	12	
38	22-12-2007	1:04:52	4,913	9	
39	22-12-2007	2:04:52	4,901	9	
40	22-12-2007	3:04:52	4,590	7	
41	22-12-2007	4:04:52	4,874	9	
42	22-12-2007	5:04:52	4,579	7	
43	22-12-2007	6:04:52	4,542	6	
44	22-12-2007	7:04:52	4,325	5	
45	22-12-2007	8:04:52	4,577	7	
46	22-12-2007	9:04:52	4,885	9	
47	22-12-2007	10:04:52	5,120	11	
48	22-12-2007	11:04:52	5,484	13	
49	22-12-2007	12:04:52	5,657	14	
50	22-12-2007	13:04:52	5,678	15	
51	22-12-2007	14:04:52	5,624	14	
52	22-12-2007	15:04:52	5,297	12	
53	22-12-2007	16:04:52	5,659	15	

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]
54	22-12-2007	17:04:52	5,445	14
55	22-12-2007	18:04:52	5,099	11
56	22-12-2007	19:04:52	5,276	12
57	22-12-2007	20:04:52	5,272	12
58	22-12-2007	21:04:52	5,261	12
59	22-12-2007	22:04:52	5,623	15
60	22-12-2007	23:04:52	5,264	12
61	23-12-2007	0:04:52	4,930	10
62	23-12-2007	1:04:52	4,924	10
63	23-12-2007	2:04:52	5,224	12
64	23-12-2007	3:04:52	4,595	7
65	23-12-2007	4:04:52	4,587	7
66	23-12-2007	5:04:52	4,582	7
67	23-12-2007	6:04:52	4,581	7
68	23-12-2007	7:04:52	4,583	7
69	23-12-2007	8:04:52	4,582	7
70	23-12-2007	9:04:52	4,591	7
71	23-12-2007	10:04:52	4,930	10
72	23-12-2007	11:04:52	5,620	16
73	23-12-2007	12:04:52	5,685	16
74	23-12-2007	13:04:52	6,081	19
75	23-12-2007	14:04:52	5,691	16
76	23-12-2007	15:04:52	5,683	16
77	23-12-2007	16:04:52	5,638	15
78	23-12-2007	17:04:52	5,287	12
79	23-12-2007	18:04:52	5,591	15
80	23-12-2007	19:04:52	5,310	13
81	23-12-2007	20:04:52	5,263	12
82	23-12-2007	21:04:52	4,939	10
83	23-12-2007	22:04:52	5,266	12
84	23-12-2007	23:04:52	5,260	12
85	24-12-2007	0:04:52	5,089	11
86	24-12-2007	1:04:52	5,070	11
87	24-12-2007	2:04:52	4,599	7
88	24-12-2007	3:04:52	4,909	9
89	24-12-2007	4:04:52	4,586	7
90	24-12-2007	5:04:52	4,580	7
91	24-12-2007	6:04:52	4,292	4
92	24-12-2007	7:04:52	4,581	7
93	24-12-2007	8:04:52	4,581	7
94	24-12-2007	9:04:52	4,892	9
95	24-12-2007	10:04:52	5,245	13
96	24-12-2007	11:04:52	5,601	16
97	24-12-2007	12:04:52	5,849	18
98	24-12-2007	13:04:52	5,723	16
99	24-12-2007	14:04:52	5,599	15
100	24-12-2007	15:04:52	5,594	15
101	24-12-2007	16:04:52	5,589	15
102	24-12-2007	17:04:52	5,578	15
103	24-12-2007	18:04:52	5,277	14
104	24-12-2007	19:04:52	5,576	16
105	24-12-2007	20:04:52	5,596	16
106	24-12-2007	21:04:52	5,253	13

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]
107	24-12-2007	22:04:52	5,223	13
108	24-12-2007	23:04:52	4,897	10
109	25-12-2007	0:04:52	4,889	10
110	25-12-2007	1:04:52	4,887	10
111	25-12-2007	2:04:52	5,185	12
112	25-12-2007	3:04:52	4,881	10
113	25-12-2007	4:04:52	4,574	8
114	25-12-2007	5:04:52	4,564	8
115	25-12-2007	6:04:52	4,563	8
116	25-12-2007	7:04:52	4,559	8
117	25-12-2007	8:04:52	4,558	8
118	25-12-2007	9:04:52	4,280	5
119	25-12-2007	10:04:52	4,864	10
120	25-12-2007	11:04:52	5,219	13
121	25-12-2007	12:04:52	5,652	16
122	25-12-2007	13:04:52	5,956	19
123	25-12-2007	14:04:52	6,324	25
124	25-12-2007	15:04:52	10,455	58
125	25-12-2007	16:04:52	10,009	55
126	25-12-2007	17:04:52	9,479	49
127	25-12-2007	18:04:52	7,433	30
128	25-12-2007	19:04:52	6,473	22
129	25-12-2007	20:04:52	5,652	15
130	25-12-2007	21:04:52	5,629	15
131	25-12-2007	22:04:52	5,835	17
132	25-12-2007	23:04:52	5,358	13
133	26-12-2007	0:04:52	5,278	12
134	26-12-2007	1:04:52	5,475	14
135	26-12-2007	2:04:52	5,211	12
136	26-12-2007	3:04:52	4,885	9
137	26-12-2007	4:04:52	4,865	9
138	26-12-2007	5:04:52	4,573	7
139	26-12-2007	6:04:52	4,858	9
140	26-12-2007	7:04:52	4,858	9
141	26-12-2007	8:04:52	4,582	7
142	26-12-2007	9:04:52	5,164	11
143	26-12-2007	10:04:52	6,075	19
144	26-12-2007	11:04:52	6,405	22
145	26-12-2007	12:04:52	6,167	21
146	26-12-2007	13:04:52	6,418	23
147	26-12-2007	14:04:52	5,784	17
148	26-12-2007	15:04:52	6,456	23
149	26-12-2007	16:04:52	6,115	20
150	26-12-2007	17:04:52	6,058	20
151	26-12-2007	18:04:52	5,636	16
152	26-12-2007	19:04:52	5,260	13
153	26-12-2007	20:04:52	5,220	13
154	26-12-2007	21:04:52	5,226	13
155	26-12-2007	22:04:52	5,596	16
156	26-12-2007	23:04:52	5,266	13
157	27-12-2007	0:04:52	5,239	13
158	27-12-2007	1:04:52	5,238	13
159	27-12-2007	2:04:52	4,890	10

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]
160	27-12-2007	3:04:52	4,873	10
161	27-12-2007	4:04:52	4,577	8
162	27-12-2007	5:04:52	4,566	8
163	27-12-2007	6:04:52	4,566	8
164	27-12-2007	7:04:52	4,567	8
165	27-12-2007	8:04:52	4,567	8
166	27-12-2007	9:04:52	4,873	10
167	27-12-2007	10:04:52	5,578	14
168	27-12-2007	11:04:52	5,602	15
169	27-12-2007	12:04:52	5,971	18
170	27-12-2007	13:04:52	5,610	16
171	27-12-2007	14:04:52	5,596	16
172	27-12-2007	15:04:52	5,602	16
173	27-12-2007	16:04:52	5,603	15
174	27-12-2007	17:04:52	5,271	12
175	27-12-2007	18:04:52	5,363	13
176	27-12-2007	19:04:52	5,202	12
177	27-12-2007	20:04:52	5,088	11
178	27-12-2007	21:04:52	5,223	12
179	27-12-2007	22:04:52	5,575	15
180	27-12-2007	23:04:52	5,227	12
181	28-12-2007	0:04:52	4,902	9
182	28-12-2007	1:04:52	5,182	12
183	28-12-2007	2:04:52	4,835	9
184	28-12-2007	3:04:52	4,609	7
185	28-12-2007	4:04:52	4,565	7
186	28-12-2007	5:04:52	4,573	7
187	28-12-2007	6:04:52	4,576	7
188	28-12-2007	7:04:52	4,571	7
189	28-12-2007	8:04:52	4,571	7
190	28-12-2007	9:04:52	4,881	9
191	28-12-2007	10:04:52	5,236	12
192	28-12-2007	11:04:52	5,639	15
193	28-12-2007	12:04:52	5,609	14
194	28-12-2007	13:04:52	5,605	15
195	28-12-2007	14:04:52	5,448	13
196	28-12-2007	15:04:52	5,416	13
197	28-12-2007	16:04:52	5,581	14
198	28-12-2007	17:04:52	5,216	12
199	28-12-2007	18:04:52	4,908	9
200	28-12-2007	19:04:52	5,196	11
201	28-12-2007	20:04:52	5,230	11
202	28-12-2007	21:04:52	5,208	11
203	28-12-2007	22:04:52	5,231	11
204	28-12-2007	23:04:52	5,214	11
205	29-12-2007	0:04:52	4,897	9
206	29-12-2007	1:04:52	5,076	10
207	29-12-2007	2:04:52	4,689	8
208	29-12-2007	3:04:52	4,864	9
209	29-12-2007	4:04:52	4,574	7
210	29-12-2007	5:04:52	4,572	7
211	29-12-2007	6:04:52	4,856	9
212	29-12-2007	7:04:52	4,563	7

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]
213	29-12-2007	8:04:52	4,579	7
214	29-12-2007	9:04:52	4,589	7
215	29-12-2007	10:04:52	5,218	12
216	29-12-2007	11:04:52	5,653	15
217	29-12-2007	12:04:52	5,677	16
218	29-12-2007	13:04:52	5,654	15
219	29-12-2007	14:04:52	5,640	15
220	29-12-2007	15:04:52	5,632	15
221	29-12-2007	16:04:52	5,641	15
222	29-12-2007	17:04:52	5,332	13
223	29-12-2007	18:04:52	4,703	8
224	29-12-2007	19:04:52	5,229	12
225	29-12-2007	20:04:52	5,355	13
226	29-12-2007	21:04:52	5,294	13
227	29-12-2007	22:04:52	5,568	15
228	29-12-2007	23:04:52	5,244	13
229	30-12-2007	0:04:52	4,910	9
230	30-12-2007	1:04:52	5,201	13
231	30-12-2007	2:04:52	4,888	9
232	30-12-2007	3:04:52	4,867	9
233	30-12-2007	4:04:52	4,579	7
234	30-12-2007	5:04:52	4,585	7
235	30-12-2007	6:04:52	4,558	7
236	30-12-2007	7:04:52	4,561	7
237	30-12-2007	8:04:52	4,561	6
238	30-12-2007	9:04:52	4,744	8
239	30-12-2007	10:04:52	4,998	10
240	30-12-2007	11:04:52	5,606	15
241	30-12-2007	12:04:52	5,720	16
242	30-12-2007	13:04:52	6,111	19
243	30-12-2007	14:04:52	5,970	18
244	30-12-2007	15:04:52	5,990	18
245	30-12-2007	16:04:52	5,633	15
246	30-12-2007	17:04:52	5,597	15
247	30-12-2007	18:04:52	5,252	12
248	30-12-2007	19:04:52	5,227	12
249	30-12-2007	20:04:52	4,977	10
250	30-12-2007	21:04:52	5,499	13
251	30-12-2007	22:04:52	5,277	12
252	30-12-2007	23:04:52	5,348	13
253	31-12-2007	0:04:52	5,385	13
254	31-12-2007	1:04:52	4,987	11
255	31-12-2007	2:04:52	4,947	10
256	31-12-2007	3:04:52	4,826	9
257	31-12-2007	4:04:52	4,574	8
258	31-12-2007	5:04:52	4,564	8
259	31-12-2007	6:04:52	4,563	8
260	31-12-2007	7:04:52	4,755	8
261	31-12-2007	8:04:52	4,662	8
262	31-12-2007	9:04:52	4,577	8
263	31-12-2007	10:04:52	5,201	13
264	31-12-2007	11:04:52	5,665	17
265	31-12-2007	12:04:52	6,050	20

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]
266	31-12-2007	13:04:52	5,633	16
267	31-12-2007	14:04:52	5,671	17
268	31-12-2007	15:04:52	6,017	19
269	31-12-2007	16:04:52	5,662	17
270	31-12-2007	17:04:52	5,651	16
271	31-12-2007	18:04:52	5,782	17
272	31-12-2007	19:04:52	5,643	16
273	31-12-2007	20:04:52	5,682	16
274	31-12-2007	21:04:52	5,786	17
275	31-12-2007	22:04:52	5,473	14
276	31-12-2007	23:04:52	5,228	12
277	01-01-2008	0:04:52	5,215	12
278	01-01-2008	1:04:52	4,919	9
279	01-01-2008	2:04:52	5,218	12
280	01-01-2008	3:04:52	4,894	9
281	01-01-2008	4:04:52	5,181	12
282	01-01-2008	5:04:52	4,877	8
283	01-01-2008	6:04:52	4,578	7
284	01-01-2008	7:04:52	4,850	9
285	01-01-2008	8:04:52	4,572	7
286	01-01-2008	9:04:52	4,567	7
287	01-01-2008	10:04:52	4,863	9
288	01-01-2008	11:04:52	5,084	11
289	01-01-2008	12:04:52	5,787	17
290	01-01-2008	13:04:52	5,748	16
291	01-01-2008	14:04:52	6,006	18
292	01-01-2008	15:04:52	5,629	15
293	01-01-2008	16:04:52	5,630	15
294	01-01-2008	17:04:52	5,662	16
295	01-01-2008	18:04:52	6,017	18
296	01-01-2008	19:04:52	6,084	19
297	01-01-2008	20:04:52	8,538	39
298	01-01-2008	21:04:52	11,074	60
299	01-01-2008	22:04:52	11,260	61
300	01-01-2008	23:04:52	7,526	31
301	02-01-2008	0:04:52	6,086	19
302	02-01-2008	1:04:52	6,002	18
303	02-01-2008	2:04:52	7,195	28
304	02-01-2008	3:04:52	6,123	19
305	02-01-2008	4:04:52	5,893	17
306	02-01-2008	5:04:52	5,519	14
307	02-01-2008	6:04:52	5,463	14
308	02-01-2008	7:04:52	7,962	34
309	02-01-2008	8:04:52	14,488	87
310	02-01-2008	9:04:52	12,469	71
311	02-01-2008	10:04:52	10,463	55
312	02-01-2008	11:04:52	10,193	52
313	02-01-2008	12:04:52	10,250	53
314	02-01-2008	13:04:52	12,553	71
315	02-01-2008	14:04:52	12,117	68
316	02-01-2008	15:04:52	11,094	60
317	02-01-2008	16:04:52	9,869	50
318	02-01-2008	17:04:52	9,439	46

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]	
319	02-01-2008	18:04:52	8,821	42	
320	02-01-2008	19:04:52	8,508	39	
321	02-01-2008	20:04:52	8,557	40	
322	02-01-2008	21:04:52	8,333	37	
323	02-01-2008	22:04:52	9,531	47	
324	02-01-2008	23:04:52	11,724	66	
325	03-01-2008	0:04:52	11,712	66	
326	03-01-2008	1:04:52	11,785	67	
327	03-01-2008	2:04:52	11,890	68	
328	03-01-2008	3:04:52	11,894	68	
329	03-01-2008	4:04:52	11,861	67	
330	03-01-2008	5:04:52	11,901	69	
331	03-01-2008	6:04:52	11,883	68	
332	03-01-2008	7:04:52	11,743	66	
333	03-01-2008	8:04:52	10,737	57	
334	03-01-2008	9:04:52	10,550	56	
335	03-01-2008	10:04:52	10,303	54	
336	03-01-2008	11:04:52	10,298	53	
337	03-01-2008	12:04:52	9,695	48	
338	03-01-2008	13:04:52	9,075	43	
339	03-01-2008	14:04:52	8,690	40	
340	03-01-2008	15:04:52	8,793	41	
341	03-01-2008	16:04:52	8,486	38	
342	03-01-2008	17:04:52	8,414	38	
343	03-01-2008	18:04:52	8,205	37	
344	03-01-2008	19:04:52	7,843	34	
345	03-01-2008	20:04:52	8,105	36	
346	03-01-2008	21:04:52	8,263	37	
347	03-01-2008	22:04:52	7,999	35	
348	03-01-2008	23:04:52	7,822	35	
349	04-01-2008	0:04:52	7,262	29	
350	04-01-2008	1:04:52	7,200	29	
351	04-01-2008	2:04:52	6,914	26	
352	04-01-2008	3:04:52	6,887	25	
353	04-01-2008	4:04:52	6,659	24	
354	04-01-2008	5:04:52	6,635	24	
355	04-01-2008	6:04:52	6,661	25	
356	04-01-2008	7:04:52	6,595	25	
357	04-01-2008	8:04:52	6,451	23	
358	04-01-2008	9:04:52	7,012	28	
359	04-01-2008	10:04:52	6,940	28	
360	04-01-2008	11:04:52	7,645	34	
361	04-01-2008	12:04:52	8,796	43	
362	04-01-2008	13:04:52	8,369	39	
363	04-01-2008	14:04:52	8,353	39	*339513*
			Total = 6562 m³		Diferença = 6620 m³
					0,88%

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]	
1	04-01-2008	14:59:54	4,006	4	339513
2	04-01-2008	15:59:54	7,666	33	
3	04-01-2008	16:59:54	7,972	35	
4	04-01-2008	17:59:54	7,577	34	
5	04-01-2008	18:59:54	7,484	33	
6	04-01-2008	19:59:54	7,917	34	
7	04-01-2008	20:59:54	7,553	34	
8	04-01-2008	21:59:54	7,729	36	
9	04-01-2008	22:59:54	7,699	36	
10	04-01-2008	23:59:54	7,286	33	
11	05-01-2008	0:59:54	7,623	35	
12	05-01-2008	1:59:54	8,228	40	
13	05-01-2008	2:59:54	7,928	38	
14	05-01-2008	3:59:54	7,703	36	
15	05-01-2008	4:59:54	8,043	39	
16	05-01-2008	5:59:54	8,480	42	
17	05-01-2008	6:59:54	9,824	53	
18	05-01-2008	7:59:54	10,003	55	
19	05-01-2008	8:59:54	9,926	54	
20	05-01-2008	9:59:54	10,018	55	
21	05-01-2008	10:59:54	10,055	55	
22	05-01-2008	11:59:54	10,003	55	
23	05-01-2008	12:59:54	9,963	54	
24	05-01-2008	13:59:54	9,965	54	
25	05-01-2008	14:59:54	10,006	55	
26	05-01-2008	15:59:54	10,035	55	
27	05-01-2008	16:59:54	10,089	55	
28	05-01-2008	17:59:54	10,185	56	
29	05-01-2008	18:59:54	10,198	56	
30	05-01-2008	19:59:54	10,095	56	
31	05-01-2008	20:59:54	10,111	56	
32	05-01-2008	21:59:54	10,026	55	
33	05-01-2008	22:59:54	10,001	55	
34	05-01-2008	23:59:54	9,472	50	
35	06-01-2008	0:59:54	9,475	50	
36	06-01-2008	1:59:54	9,312	49	
37	06-01-2008	2:59:54	9,486	51	
38	06-01-2008	3:59:54	9,620	52	
39	06-01-2008	4:59:54	8,941	46	
40	06-01-2008	5:59:54	8,899	46	
41	06-01-2008	6:59:54	8,625	44	
42	06-01-2008	7:59:54	8,574	43	
43	06-01-2008	8:59:54	8,746	45	
44	06-01-2008	9:59:54	8,928	46	
45	06-01-2008	10:59:54	9,169	48	
46	06-01-2008	11:59:54	9,219	48	
47	06-01-2008	12:59:54	9,481	51	
48	06-01-2008	13:59:54	9,385	50	
49	06-01-2008	14:59:54	9,112	48	
50	06-01-2008	15:59:54	8,504	42	
51	06-01-2008	16:59:54	8,406	41	
52	06-01-2008	17:59:54	8,331	41	
53	06-01-2008	18:59:54	8,149	40	

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]
54	06-01-2008	19:59:54	7,978	38
55	06-01-2008	20:59:54	7,947	38
56	06-01-2008	21:59:54	7,944	38
57	06-01-2008	22:59:54	7,698	36
58	06-01-2008	23:59:54	7,770	37
59	07-01-2008	0:59:54	7,393	34
60	07-01-2008	1:59:54	7,279	33
61	07-01-2008	2:59:54	7,196	32
62	07-01-2008	3:59:54	7,086	31
63	07-01-2008	4:59:54	7,095	31
64	07-01-2008	5:59:54	6,844	29
65	07-01-2008	6:59:54	7,492	34
66	07-01-2008	7:59:54	9,182	48
67	07-01-2008	8:59:54	9,252	49
68	07-01-2008	9:59:54	9,032	47
69	07-01-2008	10:59:54	9,126	48
70	07-01-2008	11:59:54	8,988	47
71	07-01-2008	12:59:54	10,489	59
72	07-01-2008	13:59:54	9,392	50
73	07-01-2008	14:59:54	9,298	50
74	07-01-2008	15:59:54	9,246	50
75	07-01-2008	16:59:54	9,083	47
76	07-01-2008	17:59:54	8,682	44
77	07-01-2008	18:59:54	8,371	42
78	07-01-2008	19:59:54	4,513	10
79	07-01-2008	20:59:54	8,338	41
80	07-01-2008	21:59:54	8,339	41
81	07-01-2008	22:59:54	8,383	42
82	07-01-2008	23:59:54	8,034	39
83	08-01-2008	0:59:54	8,152	40
84	08-01-2008	1:59:54	7,535	35
85	08-01-2008	2:59:54	7,694	36
86	08-01-2008	3:59:54	7,419	34
87	08-01-2008	4:59:54	7,209	32
88	08-01-2008	5:59:54	7,335	33
89	08-01-2008	6:59:54	7,424	34
90	08-01-2008	7:59:54	7,277	33
91	08-01-2008	8:59:54	8,083	39
92	08-01-2008	9:59:54	8,183	40
93	08-01-2008	10:59:54	4,002	4
94	08-01-2008	11:59:54	4,002	4
95	08-01-2008	12:59:54	4,003	4
96	08-01-2008	13:59:54	4,004	4
97	08-01-2008	14:59:54	4,009	4
98	08-01-2008	15:59:54	8,073	39
99	08-01-2008	16:59:54	10,377	58
100	08-01-2008	17:59:54	4,280	8
101	08-01-2008	18:59:54	9,468	50
102	08-01-2008	19:59:54	11,933	70
103	08-01-2008	20:59:54	12,111	72
104	08-01-2008	21:59:54	12,020	71
105	08-01-2008	22:59:54	10,834	62
106	08-01-2008	23:59:54	10,215	56

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]
107	09-01-2008	0:59:54	10,139	56
108	09-01-2008	1:59:54	9,752	53
109	09-01-2008	2:59:54	9,275	49
110	09-01-2008	3:59:54	9,552	51
111	09-01-2008	4:59:54	9,765	53
112	09-01-2008	5:59:54	10,661	60
113	09-01-2008	6:59:54	10,222	57
114	09-01-2008	7:59:54	10,075	55
115	09-01-2008	8:59:54	10,304	57
116	09-01-2008	9:59:54	10,808	61
117	09-01-2008	10:59:54	10,210	56
118	09-01-2008	11:59:54	10,057	55
119	09-01-2008	12:59:54	10,144	56
120	09-01-2008	13:59:54	9,314	49
121	09-01-2008	14:59:54	9,938	48
122	09-01-2008	15:59:54	9,413	50
123	09-01-2008	16:59:54	9,658	52
124	09-01-2008	17:59:54	9,121	48
125	09-01-2008	18:59:54	8,912	46
126	09-01-2008	19:59:54	8,773	45
127	09-01-2008	20:59:54	9,091	47
128	09-01-2008	21:59:54	8,855	45
129	09-01-2008	22:59:54	9,033	47
130	09-01-2008	23:59:54	8,393	42
131	10-01-2008	0:59:54	8,301	41
132	10-01-2008	1:59:54	8,204	40
133	10-01-2008	2:59:54	9,639	52
134	10-01-2008	3:59:54	10,047	55
135	10-01-2008	4:59:54	8,756	45
136	10-01-2008	5:59:54	8,429	42
137	10-01-2008	6:59:54	8,318	41
138	10-01-2008	7:59:54	8,699	44
139	10-01-2008	8:59:54	8,854	45
140	10-01-2008	9:59:54	9,327	49
141	10-01-2008	10:59:54	8,660	44
142	10-01-2008	11:59:54	9,127	48
143	10-01-2008	12:59:54	8,581	43
144	10-01-2008	13:59:54	8,427	42
145	10-01-2008	14:59:54	9,424	50
146	10-01-2008	15:59:54	8,849	45
147	10-01-2008	16:59:54	8,489	42
148	10-01-2008	17:59:54	8,566	43
149	10-01-2008	18:59:54	8,270	41
150	10-01-2008	19:59:54	8,340	41
151	10-01-2008	20:59:54	8,867	46
152	10-01-2008	21:59:54	8,653	44
153	10-01-2008	22:59:54	8,438	42
154	10-01-2008	23:59:54	8,277	41
155	11-01-2008	0:59:54	8,005	39
156	11-01-2008	1:59:54	7,837	37
157	11-01-2008	2:59:54	8,035	39
158	11-01-2008	3:59:54	9,634	52
159	11-01-2008	4:59:54	10,090	55

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]
160	11-01-2008	5:59:54	8,879	46
161	11-01-2008	6:59:54	8,676	44
162	11-01-2008	7:59:54	8,851	45
163	11-01-2008	8:59:54	9,628	52
164	11-01-2008	9:59:54	10,303	57
165	11-01-2008	10:59:54	9,693	52
166	11-01-2008	11:59:54	9,553	51
167	11-01-2008	12:59:54	9,376	50
168	11-01-2008	13:59:54	9,258	49
169	11-01-2008	14:59:54	9,181	48
170	11-01-2008	15:59:54	9,087	47
171	11-01-2008	16:59:54	9,012	47
172	11-01-2008	17:59:54	8,806	45
173	11-01-2008	18:59:54	8,812	45
174	11-01-2008	19:59:54	9,519	51
175	11-01-2008	20:59:54	9,254	49
176	11-01-2008	21:59:54	9,205	48
177	11-01-2008	22:59:54	8,935	46
178	11-01-2008	23:59:54	8,687	44
179	12-01-2008	0:59:54	8,545	43
180	12-01-2008	1:59:54	8,442	42
181	12-01-2008	2:59:54	8,107	39
182	12-01-2008	3:59:54	8,096	39
183	12-01-2008	4:59:54	8,244	40
184	12-01-2008	5:59:54	7,817	37
185	12-01-2008	6:59:54	7,922	38
186	12-01-2008	7:59:54	8,036	39
187	12-01-2008	8:59:54	7,879	38
188	12-01-2008	9:59:54	8,534	43
189	12-01-2008	10:59:54	8,796	45
190	12-01-2008	11:59:54	8,725	44
191	12-01-2008	12:59:54	8,975	46
192	12-01-2008	13:59:54	9,109	48
193	12-01-2008	14:59:54	8,965	46
194	12-01-2008	15:59:54	8,396	42
195	12-01-2008	16:59:54	8,796	45
196	12-01-2008	17:59:54	8,128	40
197	12-01-2008	18:59:54	8,193	40
198	12-01-2008	19:59:54	8,508	43
199	12-01-2008	20:59:54	8,282	41
200	12-01-2008	21:59:54	8,200	40
201	12-01-2008	22:59:54	8,059	39
202	12-01-2008	23:59:54	7,837	37
203	13-01-2008	0:59:54	7,877	38
204	13-01-2008	1:59:54	7,713	36
205	13-01-2008	2:59:54	7,634	36
206	13-01-2008	3:59:54	7,161	32
207	13-01-2008	4:59:54	7,463	34
208	13-01-2008	5:59:54	7,133	31
209	13-01-2008	6:59:54	7,092	31
210	13-01-2008	7:59:54	7,497	34
211	13-01-2008	8:59:54	7,162	32
212	13-01-2008	9:59:54	10,350	58

Ponto	Data	Hora	v1 Afife [mA]	v+ Afife [m³/h]	
213	13-01-2008	10:59:54	14,654	93	
214	13-01-2008	11:59:54	14,735	93	
215	13-01-2008	12:59:54	15,012	95	
216	13-01-2008	13:59:54	15,019	96	
217	13-01-2008	14:59:54	15,046	96	
218	13-01-2008	15:59:54	15,091	96	
219	13-01-2008	16:59:54	15,054	96	
220	13-01-2008	17:59:54	15,044	96	
221	13-01-2008	18:59:54	14,971	95	
222	13-01-2008	19:59:54	14,996	95	
223	13-01-2008	20:59:54	15,010	95	
224	13-01-2008	21:59:54	14,976	95	
225	13-01-2008	22:59:54	14,947	95	
226	13-01-2008	23:59:54	15,090	96	
227	14-01-2008	0:59:54	15,110	96	
228	14-01-2008	1:59:54	15,056	96	
229	14-01-2008	2:59:54	15,029	96	
230	14-01-2008	3:59:54	15,037	96	
231	14-01-2008	4:59:54	14,957	95	
232	14-01-2008	5:59:54	14,091	88	
233	14-01-2008	6:59:54	14,083	88	
234	14-01-2008	7:59:54	13,757	85	
235	14-01-2008	8:59:54	13,975	87	
236	14-01-2008	9:59:54	14,263	88	
237	14-01-2008	10:59:54	13,924	86	
238	14-01-2008	11:59:54	13,844	85	*351 256 m³*

Total = 11 650 m³ Diferença = 11 743 m³

0,79%

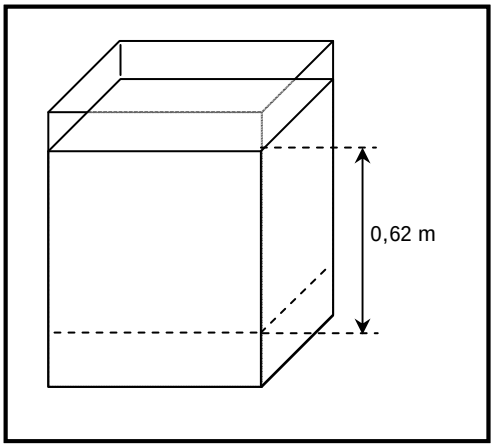
A 6

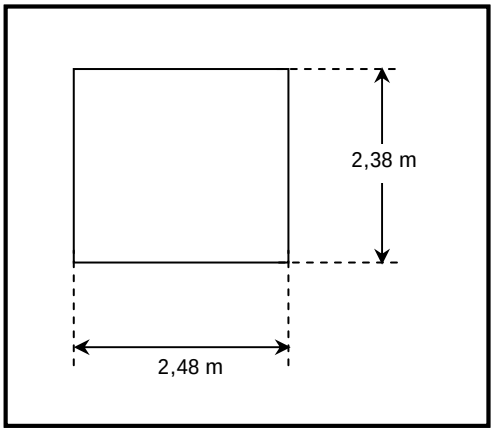
Afife Q_A [m³/h]	Semana 1							Média da Semana 1	Semana 2							Média da Semana 2
	dia 1 10/12	dia 2 11/12	dia 3 12/12	dia 4 13/12	dia 5 14/12	dia 6 15/12	dia 7 16/12		dia 8 17/12	dia 9 18/12	dia 10 19/12	dia 11 20/12	dia 12 21/12	dia 13 22/12	dia 14 23/12	
0:00 - 1:00	-	8	5	8	8	5	7	**6,8**	7	7	10	9	12	9	10	**9,1**
1:00 - 2:00	-	8	8	5	5	5	5	**6,0**	5	5	11	7	9	9	12	**8,3**
2:00 - 3:00	-	5	5	5	5	5	5	**5,0**	5	5	20	5	7	7	7	**8,0**
3:00 - 4:00	-	5	4	5	5	4	4	**4,5**	5	5	16	5	8	9	7	**7,9**
4:00 - 5:00	-	5	4	5	3	3	5	**4,2**	5	5	13	5	7	7	7	**7,0**
5:00 - 6:00	-	5	5	5	5	2	5	**4,5**	2	5	8	5	6	6	7	**5,6**
6:00 - 7:00	-	5	5	5	3	5	5	**4,7**	5	2	10	7	7	5	7	**6,1**
7:00 - 8:00	-	8	8	8	8	5	2	**6,5**	7	7	10	5	7	7	7	**7,1**
8:00 - 9:00	-	15	15	12	11	5	7	**10,8**	14	11	14	9	9	9	7	**10,4**
9:00 - 10:00	-	15	13	12	12	10	7	**11,5**	16	19	14	12	12	11	10	**13,4**
10:00 - 11:00	5	12	14	15	9	11	18	**12,0**	21	14	13	11	15	13	16	**14,7**
11:00 - 12:00	18	15	15	12	12	10	18	**14,3**	19	19	13	2	12	14	16	**13,6**
12:00 - 13:00	13	12	9	11	9	18	15	**12,4**	16	10	10	15	15	15	19	**14,3**
13:00 - 14:00	15	15	13	12	89	11	18	**24,7**	14	11	12	12	12	14	16	**13,0**
14:00 - 15:00	15	14	13	15	8	16	10	**13,0**	16	11	10	14	15	12	16	**13,4**
15:00 - 16:00	13	13	12	12	7	16	11	**12,0**	14	20	10	14	12	15	15	**14,3**
16:00 - 17:00	14	11	12	11	7	12	12	**11,3**	14	15	10	12	11	14	12	**12,6**
17:00 - 18:00	12	8	8	8	7	7	7	**8,1**	10	24	10	12	10	11	15	**13,1**
18:00 - 19:00	9	8	8	8	5	10	9	**8,1**	10	44	9	12	9	12	13	**15,6**
19:00 - 20:00	11	11	11	10	9	10	8	**10,0**	8	51	11	9	10	12	12	**16,1**
20:00 - 21:00	12	11	9	10	8	8	7	**9,3**	10	32	10	12	12	12	10	**14,0**
21:00 - 22:00	12	9	12	9	7	10	10	**9,9**	9	25	10	12	13	15	12	**13,7**
22:00 - 23:00	11	11	9	8	7	7	9	**8,9**	8	19	10	12	12	12	12	**12,1**
23:00 - 24:00	9	8	8	8	7	7	5	**7,4**	7	11	8	9	12	10	11	**9,7**

Afife Q_A [m³/h]	Semana 3							Média da Semana 3	Semana 4							Média da Semana 4
	dia 15 24/12	dia 16 25/12	dia 17 26/12	dia 18 27/12	dia 19 28/12	dia 20 29/12	dia 21 30/12		dia 22 31/12	dia 23 01/01	dia 24 02/01	dia 25 03/01	dia 26 04/01	dia 27 05/01	dia 28 06/01	
0:00 - 1:00	11	10	14	13	12	10	13	**11,9**	13	9	18	67	29	35	50	**31,6**
1:00 - 2:00	7	12	12	10	9	8	9	**9,6**	11	12	28	68	26	40	49	**33,4**
2:00 - 3:00	9	10	9	10	7	9	9	**9,0**	10	9	19	68	25	38	51	**31,4**
3:00 - 4:00	7	8	9	8	7	7	7	**7,6**	9	12	17	67	24	36	52	**31,0**
4:00 - 5:00	7	8	7	8	7	7	7	**7,3**	8	8	14	69	24	39	46	**29,7**
5:00 - 6:00	4	8	9	8	7	9	7	**7,4**	8	7	14	68	25	42	46	**30,0**
6:00 - 7:00	7	8	9	8	7	7	7	**7,6**	8	9	34	66	25	53	44	**34,1**
7:00 - 8:00	7	8	7	8	7	7	6	**7,1**	8	7	87	57	23	55	43	**40,0**
8:00 - 9:00	9	5	11	10	9	7	8	**8,4**	8	7	71	56	28	54	45	**38,4**
9:00 - 10:00	13	10	19	14	12	12	10	**12,9**	8	9	55	54	28	55	46	**36,4**
10:00 - 11:00	16	13	22	15	15	15	15	**15,9**	13	11	52	53	34	55	48	**38,0**
11:00 - 12:00	18	16	21	18	14	16	16	**17,0**	17	17	53	48	43	55	48	**40,1**
12:00 - 13:00	16	19	23	16	15	15	19	**17,6**	20	16	71	43	39	54	51	**42,0**
13:00 - 14:00	15	25	17	16	13	15	18	**17,0**	16	18	68	40	39	54	50	**40,7**
14:00 - 15:00	15	58	23	16	13	15	18	**22,6**	17	15	60	41	4	55	48	**34,3**
15:00 - 16:00	15	55	20	15	14	15	15	**21,3**	19	15	50	38	33	55	42	**36,0**
16:00 - 17:00	15	49	20	12	12	13	15	**19,4**	17	16	46	38	35	55	41	**35,4**
17:00 - 18:00	14	30	16	13	9	8	12	**14,6**	16	18	42	37	34	56	41	**34,9**
18:00 - 19:00	16	22	13	12	11	12	12	**14,0**	17	19	39	34	33	56	40	**34,0**
19:00 - 20:00	16	15	13	11	11	13	10	**12,7**	16	39	40	36	34	56	38	**37,0**
20:00 - 21:00	13	15	13	12	11	13	13	**12,9**	16	60	37	37	34	56	38	**39,7**
21:00 - 22:00	13	17	16	15	11	15	12	**14,1**	17	61	47	35	36	55	38	**41,3**
22:00 - 23:00	10	13	13	12	11	13	13	**12,1**	14	31	66	35	36	55	36	**39,0**
23:00 - 24:00	10	12	13	9	9	9	13	**10,7**	12	19	66	29	33	50	37	**35,1**

Afife Q_A [m³/h]	Semana 5							Média da Semana 5		Média de todos os dias
	dia 29 07/01	dia 30 08/01	dia 31 09/01	dia 32 10/01	dia 33 11/01	dia 34 12/01	dia 35 13/01		36 14/01	
0:00 - 1:00	34	40	56	41	39	43	38	**41,6**	96	**22,7**
1:00 - 2:00	33	35	53	40	37	42	36	**39,4**	96	**21,9**
2:00 - 3:00	32	36	49	52	39	39	36	**40,4**	96	**21,4**
3:00 - 4:00	31	34	51	55	52	39	32	**42,0**	96	**21,2**
4:00 - 5:00	31	32	53	45	55	40	34	**41,4**	95	**20,5**
5:00 - 6:00	29	33	60	42	46	37	31	**39,7**	88	**19,8**
6:00 - 7:00	34	34	57	41	44	38	31	**39,9**	88	**20,9**
7:00 - 8:00	48	33	55	44	45	39	34	**42,6**	85	**22,9**
8:00 - 9:00	49	39	57	45	52	38	32	**44,6**	87	**24,7**
9:00 - 10:00	47	40	61	49	57	43	58	**50,7**	88	**27,2**
10:00 - 11:00	48	4	56	44	52	45	93	**48,9**	86	**27,6**
11:00 - 12:00	47	4	55	48	51	44	93	**48,9**	85	**28,4**
12:00 - 13:00	59	4	56	43	50	46	95	**50,4**	-	**27,3**
13:00 - 14:00	50	4	49	42	49	48	96	**48,3**	-	**28,7**
14:00 - 15:00	50	4	48	50	48	46	96	**48,9**	-	**26,4**
15:00 - 16:00	50	39	50	45	47	42	96	**52,7**	-	**27,3**
16:00 - 17:00	47	58	52	42	47	45	96	**55,3**	-	**26,8**
17:00 - 18:00	44	8	48	43	45	40	96	**46,3**	-	**23,4**
18:00 - 19:00	42	50	46	41	45	40	95	**51,3**	-	**24,6**
19:00 - 20:00	10	70	45	41	51	43	95	**50,7**	-	**25,3**
20:00 - 21:00	41	72	47	46	49	41	95	**55,9**	-	**26,3**
21:00 - 22:00	41	71	45	44	48	40	95	**54,9**	-	**26,8**
22:00 - 23:00	42	62	47	42	46	39	95	**53,3**	-	**25,1**
23:00 - 24:00	39	56	42	41	44	37	96	**50,7**	-	**22,7**

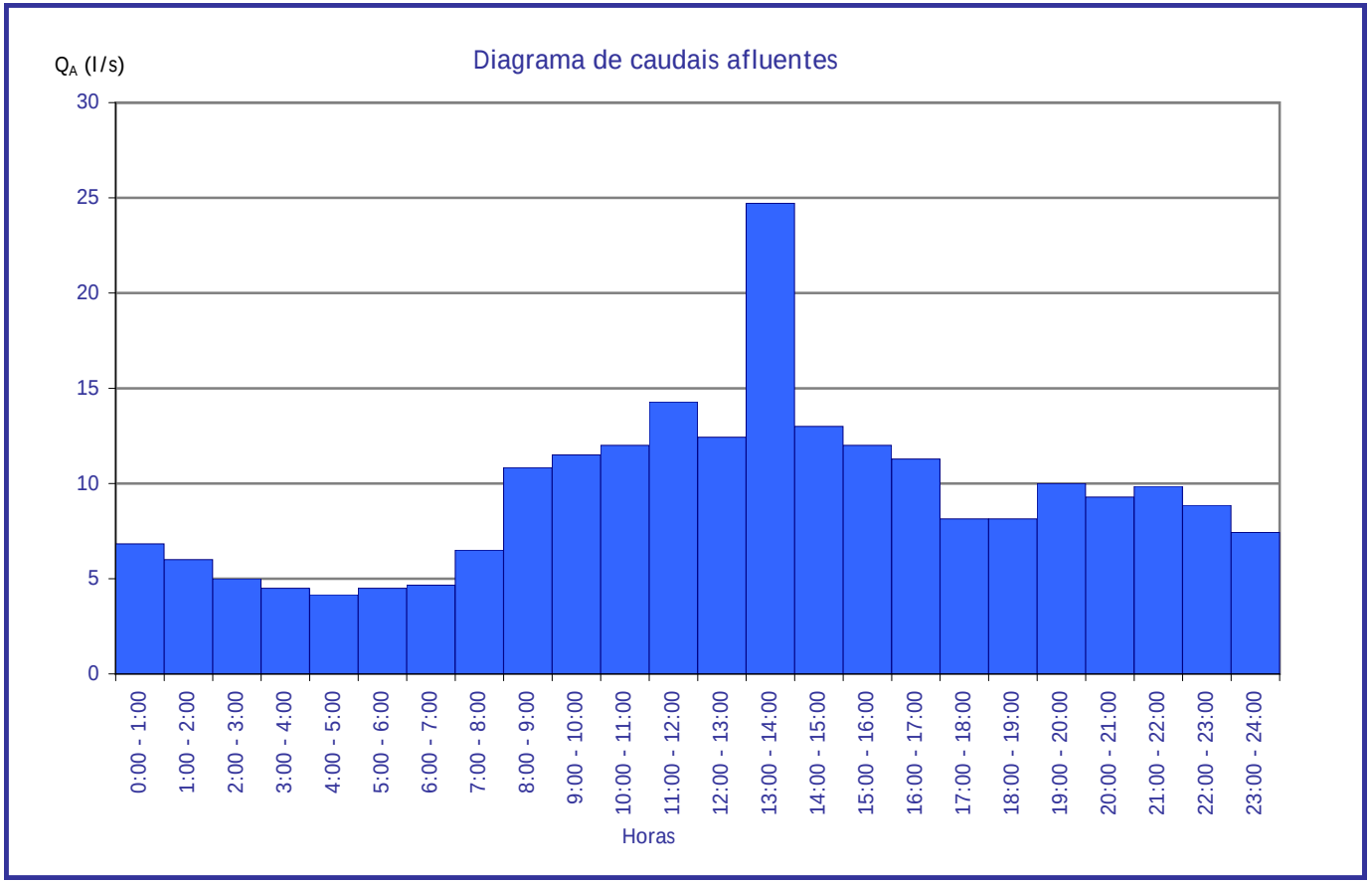
A 7


0,62 m


2,38 m
2,48 m

• **Um dia tipo**

Horas	Q_A (l/s)
0:00 - 1:00	6,8
1:00 - 2:00	6,0
2:00 - 3:00	5,0
3:00 - 4:00	4,5
4:00 - 5:00	4,2
5:00 - 6:00	4,5
6:00 - 7:00	4,7
7:00 - 8:00	6,5
8:00 - 9:00	10,8
9:00 - 10:00	11,5
10:00 - 11:00	12,0
11:00 - 12:00	14,3
12:00 - 13:00	12,4
13:00 - 14:00	24,7
14:00 - 15:00	13,0
15:00 - 16:00	12,0
16:00 - 17:00	11,3
17:00 - 18:00	8,1
18:00 - 19:00	8,1
19:00 - 20:00	10,0
20:00 - 21:00	9,3
21:00 - 22:00	9,9
22:00 - 23:00	8,9
23:00 - 24:00	7,4



Modelação Hidráulica da Exploração de Sistemas Elevatórios de Águas Residuais

versão 0 | 2008-02-04

Caudal afluente - Q_A:	18,6 l/s
Caudal bombado - Q_B:	27,0 l/s

Conduta Elevatória

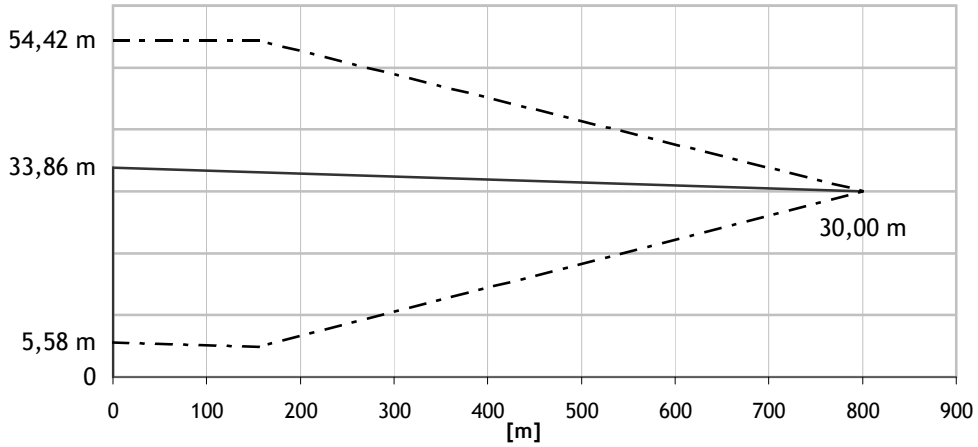
Material:	PVC
Diâmetro:	Ø200 (188,2 mm)
Inclinação - i:	3,8%
Extensão - L:	800,00 m

Velocidade do Escoamento - U:	0,97 m/s
Desnível geométrico - Δz:	30,00 m
Perda de carga unitária - j:	0,005 m/m
Perdas de carga localizadas - ΔH_{Loc}:	0,00 m
Perda de carga TOTAL - ΔH_{TOTAL}:	3,86 m
Altura manométrica - H_M:	33,86 m

Análise do Choque Hidráulico:

Celeridade - a:	285,9 m/s
Fase - μ:	5,60 s
Tempo de anulação do caudal (Rosich) - T:	4,51 s
Classificação da manobra →	Manobra Rápida
Variação máx. da linha de energia - ΔH_{CH}:	28,28 m

Linha de Energia e Envolvente do Choque Hidráulico

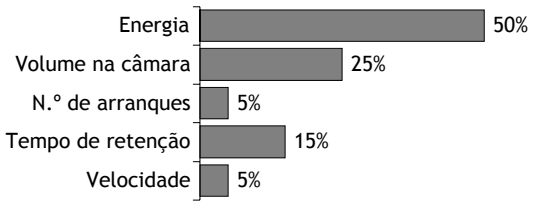


Câmara de Aspiração

Tempo de enchimento da câmara de aspiração	t_1	196 s	3,3 min	0,05 h
Tempo de funcionamento da bomba (por ciclo)	t_2	437 s	7,3 min	0,12 h
Tempo que a partícula demora a percorrer a conduta	t_3	824 s	13,7 min	0,23 h
Tempo que a partícula se encontra parada na conduta	t_4	589 s	9,8 min	0,16 h
Número de ciclos	ω		1,89	
Tempo de retenção na conduta	t_c	1 414 s	23,6 min	0,39 h
Número de arranques, por unidade de tempo	Z	0 /s	0,1 /min	5,68 /h

Análise de Desempenho

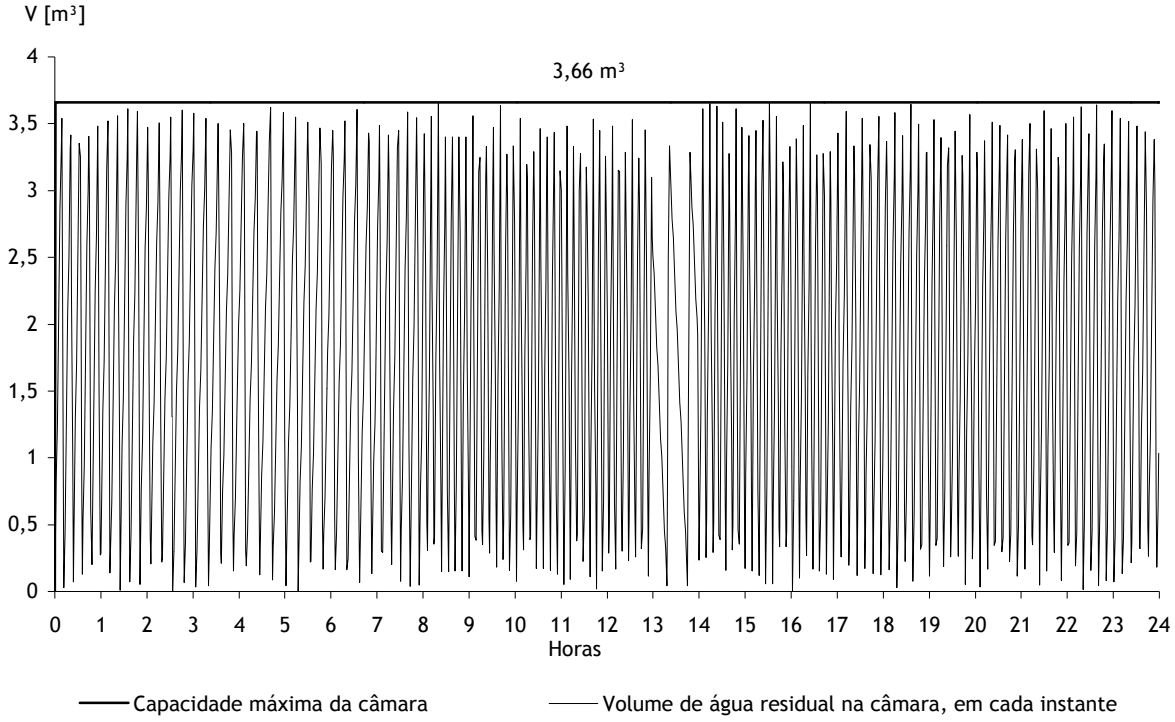
Ponderação dos Indicadores:



Contribuição de cada Indicador:

Energia	(0,61)	4
Volume na câmara	(0,00)	5
Nº de arranques	(15 /h)	4
Tempo de retenção	(24 min)	5
Velocidade	(0,97 m/s)	5
Índice de desempenho global		4,45

Volume de Água Residual na Câmara de Aspiração (sem contar com o Volume de Reserva)

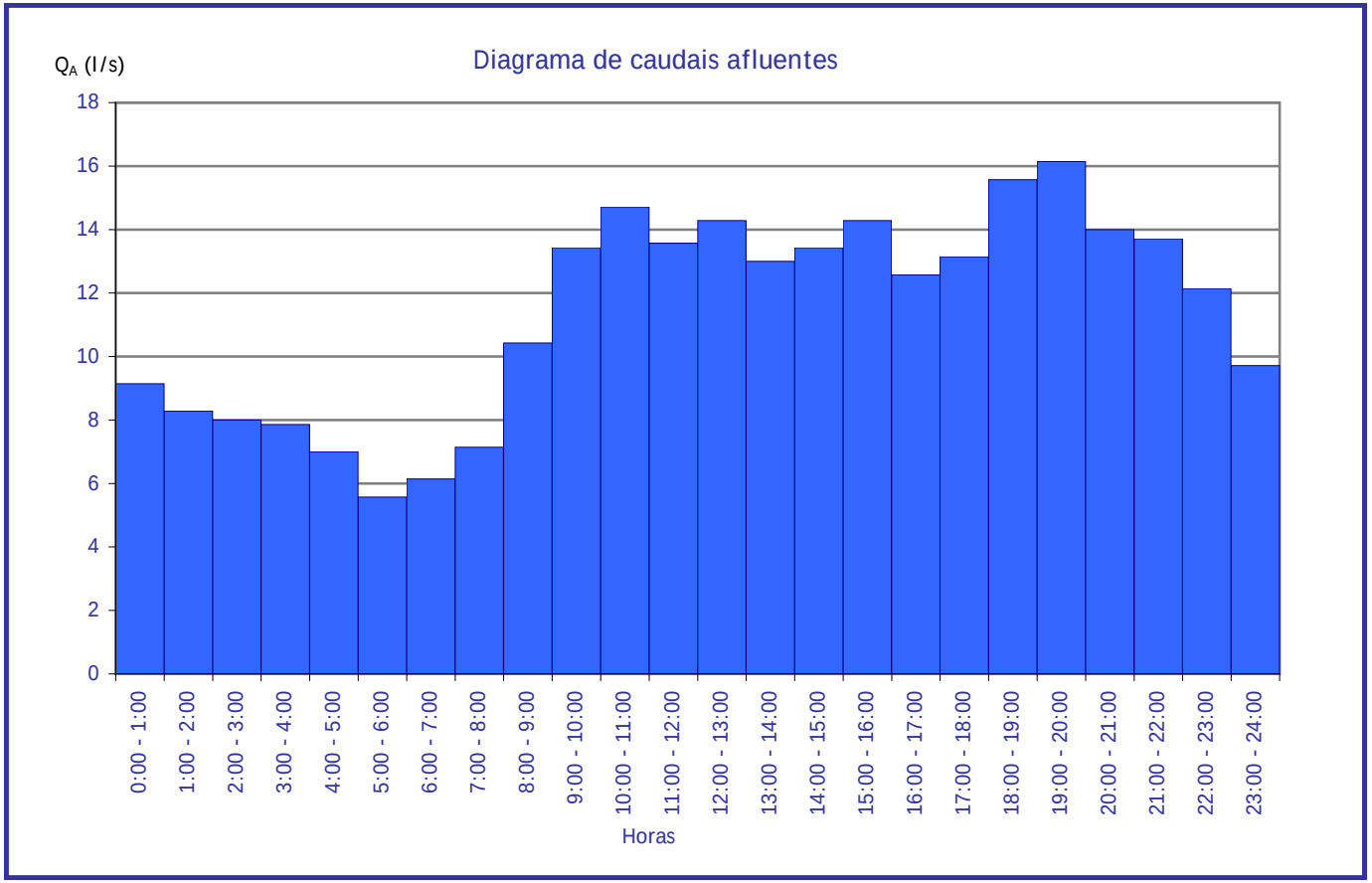


Identificação do Projecto:

Semana 1

• **Um dia tipo**

Horas	Q_A (l/s)
0:00 - 1:00	9,1
1:00 - 2:00	8,3
2:00 - 3:00	8,0
3:00 - 4:00	7,9
4:00 - 5:00	7,0
5:00 - 6:00	5,6
6:00 - 7:00	6,1
7:00 - 8:00	7,1
8:00 - 9:00	10,4
9:00 - 10:00	13,4
10:00 - 11:00	14,7
11:00 - 12:00	13,6
12:00 - 13:00	14,3
13:00 - 14:00	13,0
14:00 - 15:00	13,4
15:00 - 16:00	14,3
16:00 - 17:00	12,6
17:00 - 18:00	13,1
18:00 - 19:00	15,6
19:00 - 20:00	16,1
20:00 - 21:00	14,0
21:00 - 22:00	13,7
22:00 - 23:00	12,1
23:00 - 24:00	9,7



Modelação Hidráulica da Exploração de Sistemas Elevatórios de Águas Residuais

versão 0 | 2008-02-04

Caudal afluente - Q_A:	15,3 l/s
Caudal bombado - Q_B:	27,0 l/s

Conduta Elevatória

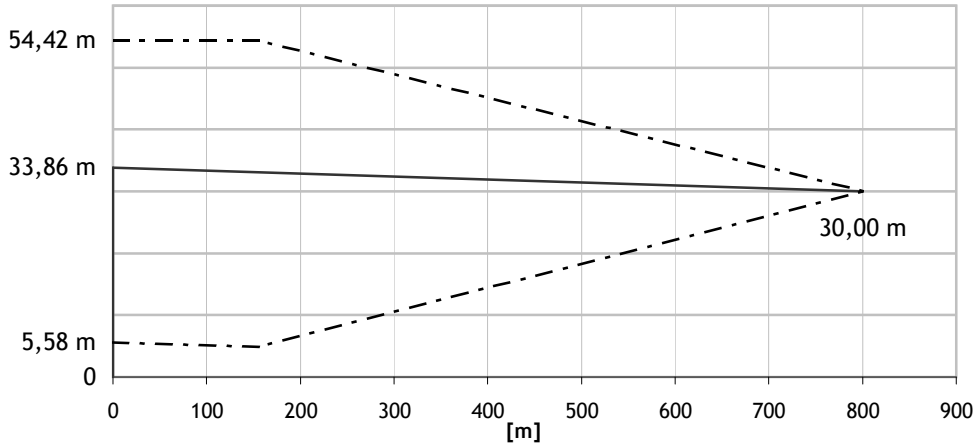
Material:	PVC
Diâmetro:	Ø200 (188,2 mm)
Inclinação - i:	3,8%
Extensão - L:	800,00 m

Velocidade do Escoamento - U:	0,97 m/s
Desnível geométrico - Δz:	30,00 m
Perda de carga unitária - j:	0,005 m/m
Perdas de carga localizadas - ΔH_{Loc}:	0,00 m
Perda de carga TOTAL - ΔH_{TOTAL}:	3,86 m
Altura manométrica - H_M:	33,86 m

Análise do Choque Hidráulico:

Celeridade - a:	285,9 m/s
Fase - μ:	5,60 s
Tempo de anulação do caudal (Rosich) - T:	4,51 s
Classificação da manobra →	Manobra Rápida
Variação máx. da linha de energia - ΔH_{CH}:	28,28 m

Linha de Energia e Envolvente do Choque Hidráulico

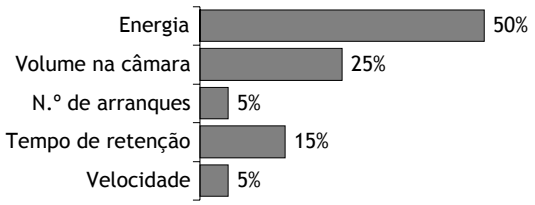


Câmara de Aspiração

Tempo de enchimento da câmara de aspiração	t_1	239 s	4,0 min	0,07 h
Tempo de funcionamento da bomba (por ciclo)	t_2	313 s	5,2 min	0,09 h
Tempo que a partícula demora a percorrer a conduta	t_3	824 s	13,7 min	0,23 h
Tempo que a partícula se encontra parada na conduta	t_4	957 s	16,0 min	0,27 h
Número de ciclos	ω		2,64	
Tempo de retenção na conduta	t_c	1 782 s	29,7 min	0,49 h
Número de arranques, por unidade de tempo	Z	0 /s	0,1 /min	6,52 /h

Análise de Desempenho

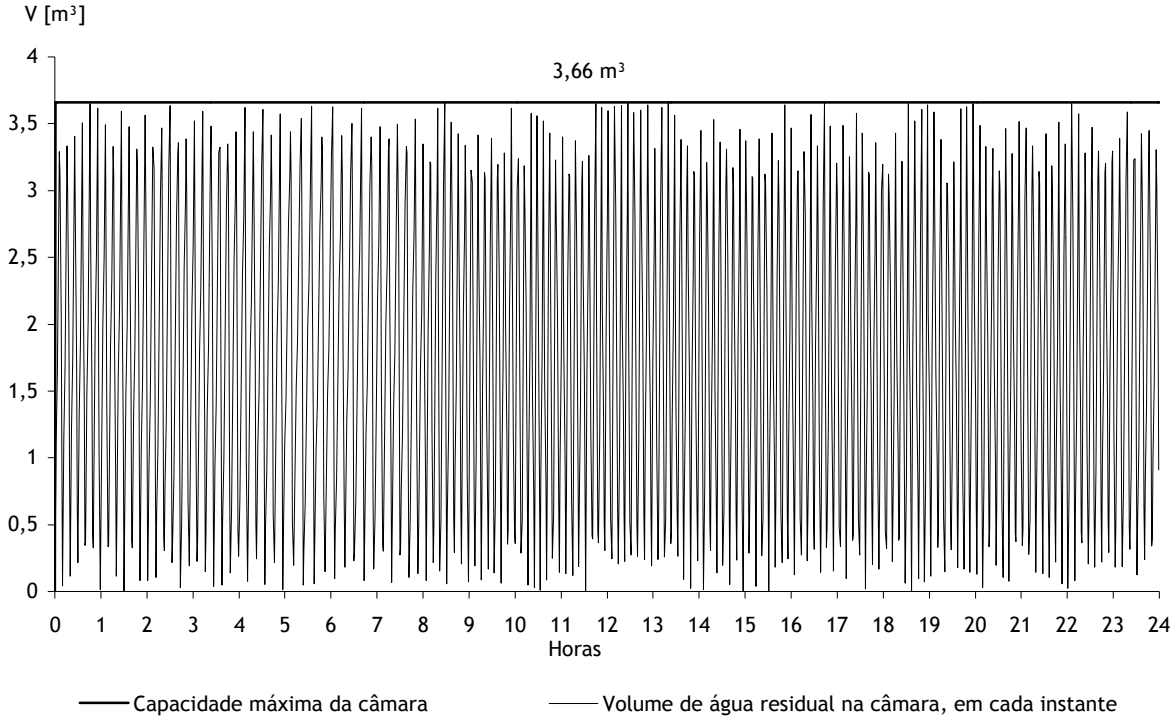
Ponderação dos Indicadores:



Contribuição de cada Indicador:

Energia	(0,62)	4
Volume na câmara	(0,00)	5
Nº de arranques	(15 /h)	4
Tempo de retenção	(30 min)	5
Velocidade	(0,97 m/s)	5
Índice de desempenho global		4,45

Volume de Água Residual na Câmara de Aspiração (sem contar com o Volume de Reserva)

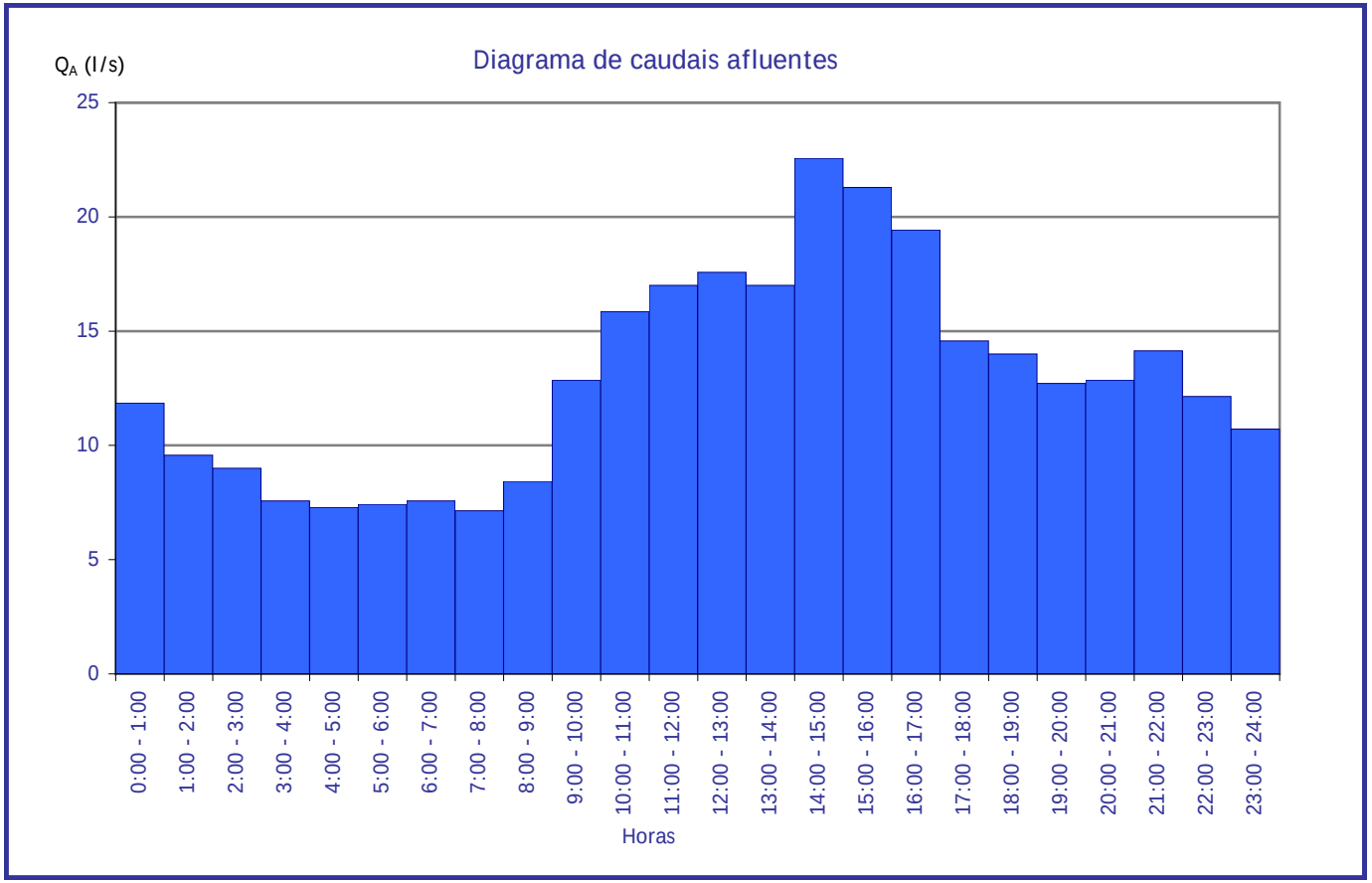


Identificação do Projecto:

Semana 2

• **Um dia tipo**

Horas	Q_A (l/s)
0:00 - 1:00	11,9
1:00 - 2:00	9,6
2:00 - 3:00	9,0
3:00 - 4:00	7,6
4:00 - 5:00	7,3
5:00 - 6:00	7,4
6:00 - 7:00	7,6
7:00 - 8:00	7,1
8:00 - 9:00	8,4
9:00 - 10:00	12,9
10:00 - 11:00	15,9
11:00 - 12:00	17,0
12:00 - 13:00	17,6
13:00 - 14:00	17,0
14:00 - 15:00	22,6
15:00 - 16:00	21,3
16:00 - 17:00	19,4
17:00 - 18:00	14,6
18:00 - 19:00	14,0
19:00 - 20:00	12,7
20:00 - 21:00	12,9
21:00 - 22:00	14,1
22:00 - 23:00	12,1
23:00 - 24:00	10,7



Modelação Hidráulica da Exploração de Sistemas Elevatórios de Águas Residuais

versão 0 | 2008-02-04

Caudal afluente - Q_A:	20,3 l/s
Caudal bombado - Q_B:	27,0 l/s

Conduta Elevatória

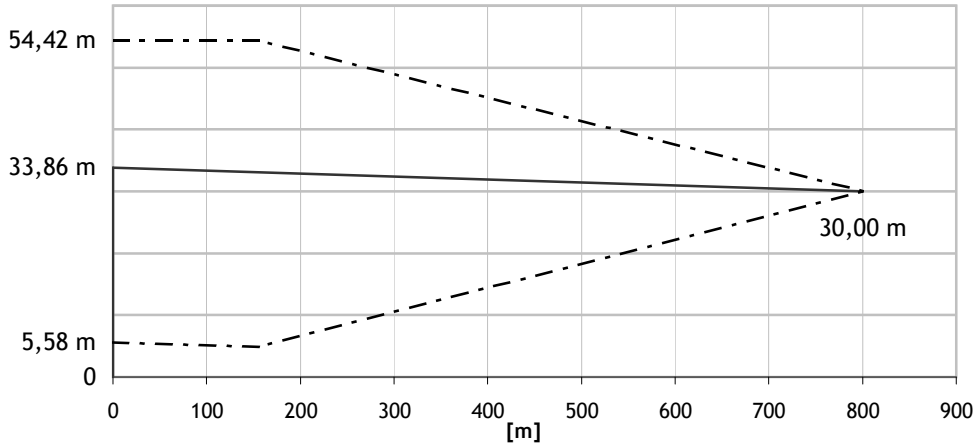
Material:	PVC
Diâmetro:	Ø200 (188,2 mm)
Inclinação - i:	3,8%
Extensão - L:	800,00 m

Velocidade do Escoamento - U:	0,97 m/s
Desnível geométrico - Δz:	30,00 m
Perda de carga unitária - j:	0,005 m/m
Perdas de carga localizadas - ΔH_{Loc}:	0,00 m
Perda de carga TOTAL - ΔH_{TOTAL}:	3,86 m
Altura manométrica - H_M:	33,86 m

Análise do Choque Hidráulico:

Celeridade - a:	285,9 m/s
Fase - μ:	5,60 s
Tempo de anulação do caudal (Rosich) - T:	4,51 s
Classificação da manobra →	Manobra Rápida
Variação máx. da linha de energia - ΔH_{CH}:	28,28 m

Linha de Energia e Envolvente do Choque Hidráulico

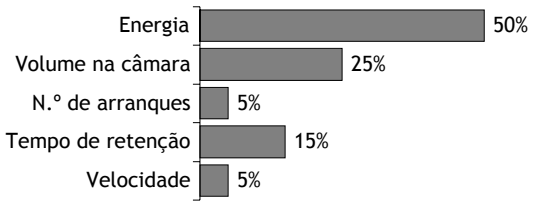


Câmara de Aspiração

Tempo de enchimento da câmara de aspiração	t_1	180 s	3,0 min	0,05 h
Tempo de funcionamento da bomba (por ciclo)	t_2	546 s	9,1 min	0,15 h
Tempo que a partícula demora a percorrer a conduta	t_3	824 s	13,7 min	0,23 h
Tempo que a partícula se encontra parada na conduta	t_4	541 s	9,0 min	0,15 h
Número de ciclos	ω		1,51	
Tempo de retenção na conduta	t_c	1 365 s	22,8 min	0,38 h
Número de arranques, por unidade de tempo	Z	0 /s	0,1 /min	4,96 /h

Análise de Desempenho

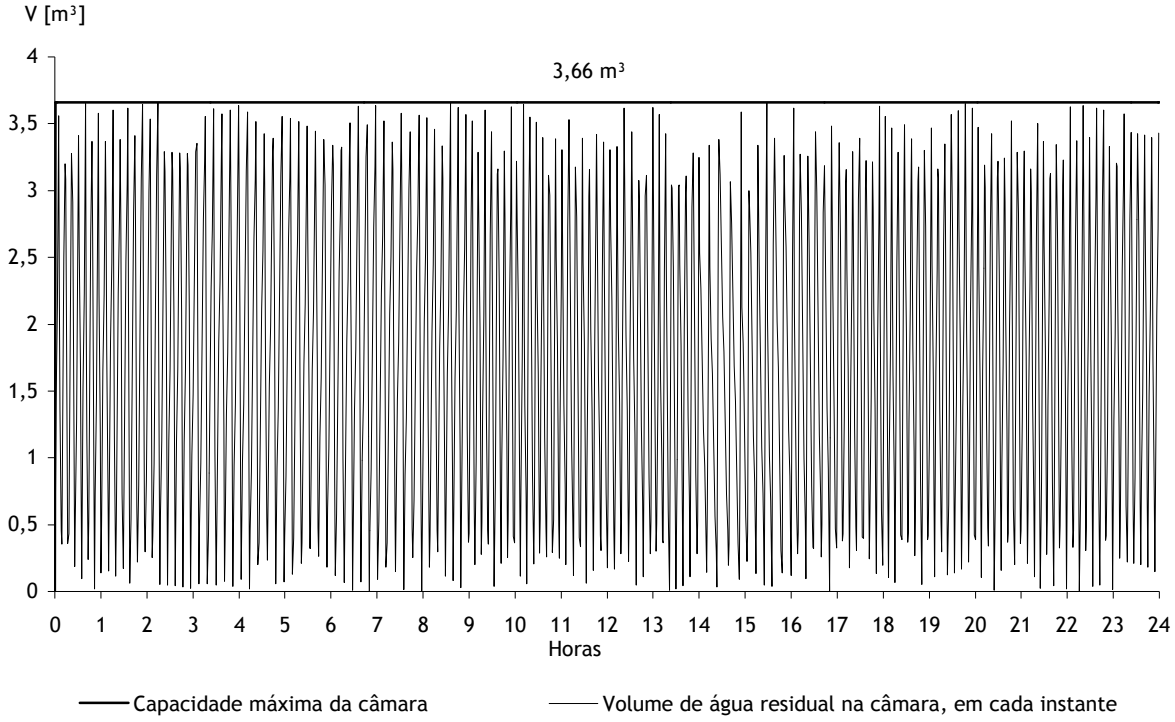
Ponderação dos Indicadores:



Contribuição de cada Indicador:

Energia	(0,61)	4
Volume na câmara	(0,00)	5
Nº de arranques	(15 /h)	4
Tempo de retenção	(23 min)	5
Velocidade	(0,97 m/s)	5
Índice de desempenho global		4,45

Volume de Água Residual na Câmara de Aspiração (sem contar com o Volume de Reserva)

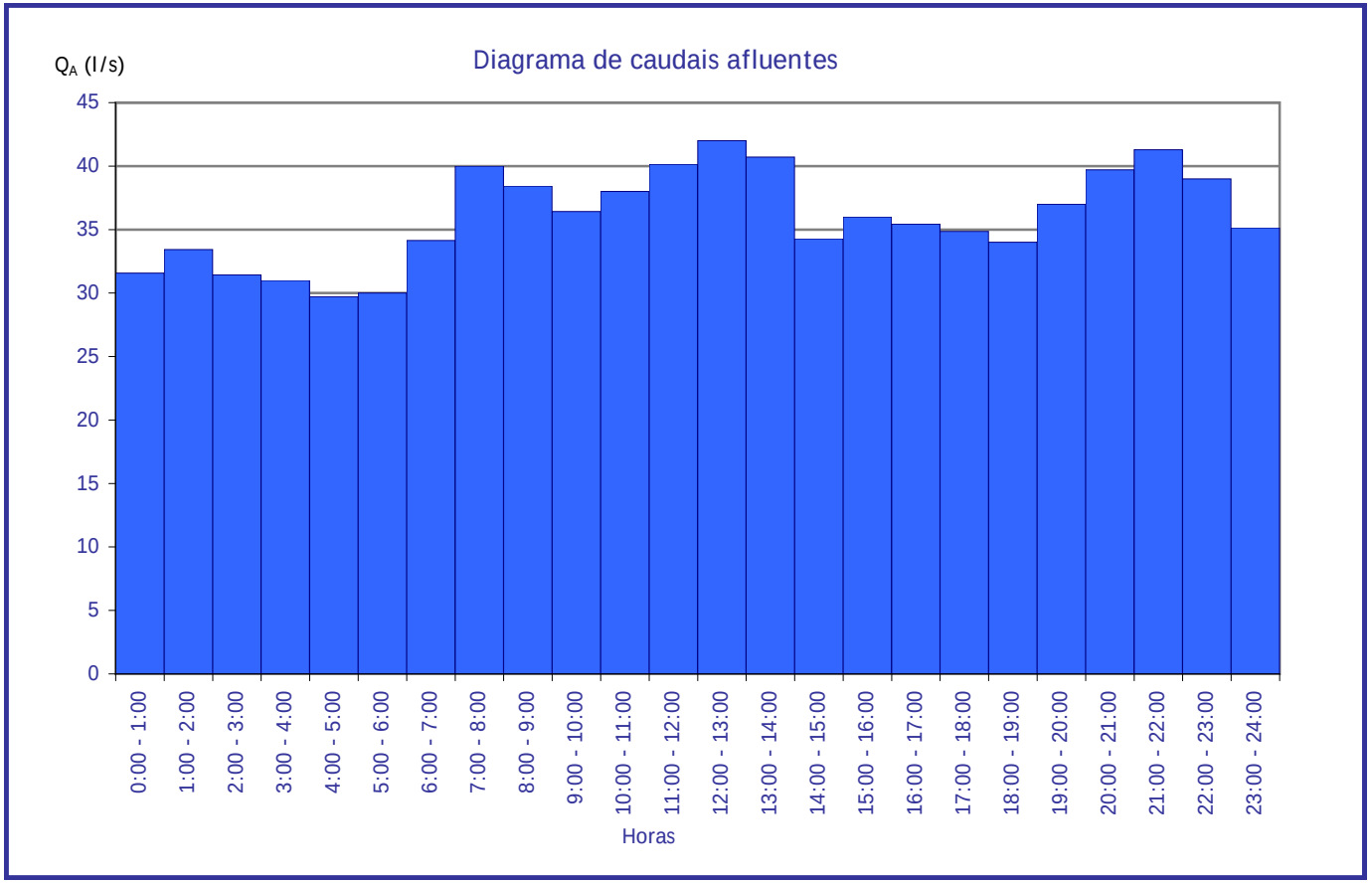


Identificação do Projecto:

Semana 3

• **Um dia tipo**

Horas	Q_A (l/s)
0:00 - 1:00	31,6
1:00 - 2:00	33,4
2:00 - 3:00	31,4
3:00 - 4:00	31,0
4:00 - 5:00	29,7
5:00 - 6:00	30,0
6:00 - 7:00	34,1
7:00 - 8:00	40,0
8:00 - 9:00	38,4
9:00 - 10:00	36,4
10:00 - 11:00	38,0
11:00 - 12:00	40,1
12:00 - 13:00	42,0
13:00 - 14:00	40,7
14:00 - 15:00	34,3
15:00 - 16:00	36,0
16:00 - 17:00	35,4
17:00 - 18:00	34,9
18:00 - 19:00	34,0
19:00 - 20:00	37,0
20:00 - 21:00	39,7
21:00 - 22:00	41,3
22:00 - 23:00	39,0
23:00 - 24:00	35,1



Modelação Hidráulica da Exploração de Sistemas Elevatórios de Águas Residuais

versão 0 | 2008-02-04

Caudal afluente - Q_A:	41,1 l/s
Caudal bombado - Q_B:	59,0 l/s

Conduta Elevatória

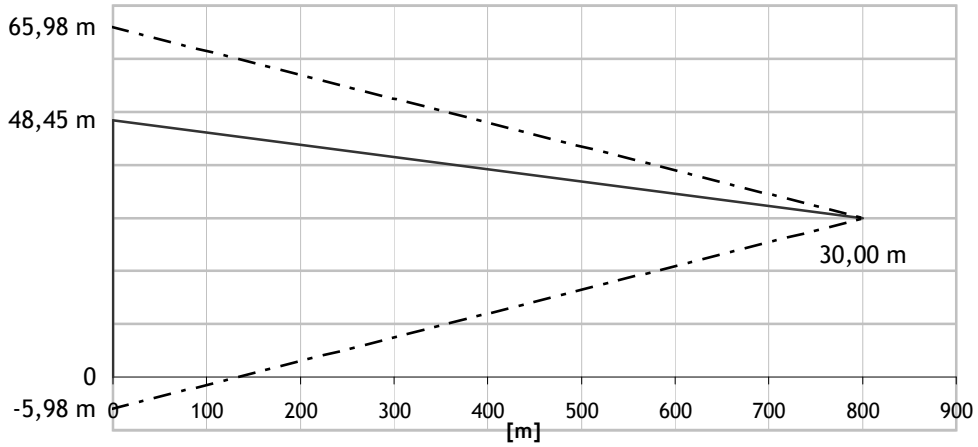
Material:	PVC
Diâmetro:	Ø200 (188,2 mm)
Inclinação - i:	3,8%
Extensão - L:	800,00 m

Velocidade do Escoamento - U:	2,12 m/s
Desnível geométrico - Δz:	30,00 m
Perda de carga unitária - j:	0,023 m/m
Perdas de carga localizadas - ΔH_{Loc}:	0,00 m
Perda de carga TOTAL - ΔH_{TOTAL}:	18,45 m
Altura manométrica - H_M:	48,45 m

Análise do Choque Hidráulico:

Celeridade - a:	285,9 m/s
Fase - μ:	5,60 s
Tempo de anulação do caudal (Rosich) - T:	6,36 s
Classificação da manobra →	Manobra Lenta
Variação máx. da linha de energia - ΔH_{CH}:	54,43 m

Linha de Energia e Envolvente do Choque Hidráulico

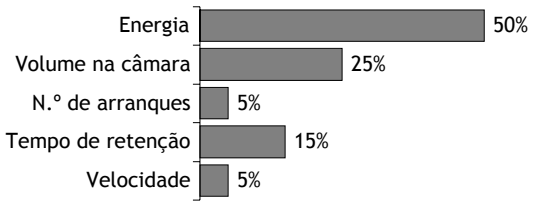


Câmara de Aspiração

Tempo de enchimento da câmara de aspiração	t_1	89 s	1,5 min	0,02 h
Tempo de funcionamento da bomba (por ciclo)	t_2	204 s	3,4 min	0,06 h
Tempo que a partícula demora a percorrer a conduta	t_3	377 s	6,3 min	0,10 h
Tempo que a partícula se encontra parada na conduta	t_4	267 s	4,5 min	0,07 h
Número de ciclos	ω		1,85	
Tempo de retenção na conduta	t_c	645 s	10,7 min	0,18 h
Número de arranques, por unidade de tempo	Z	0 /s	0,2 /min	12,28 /h

Análise de Desempenho

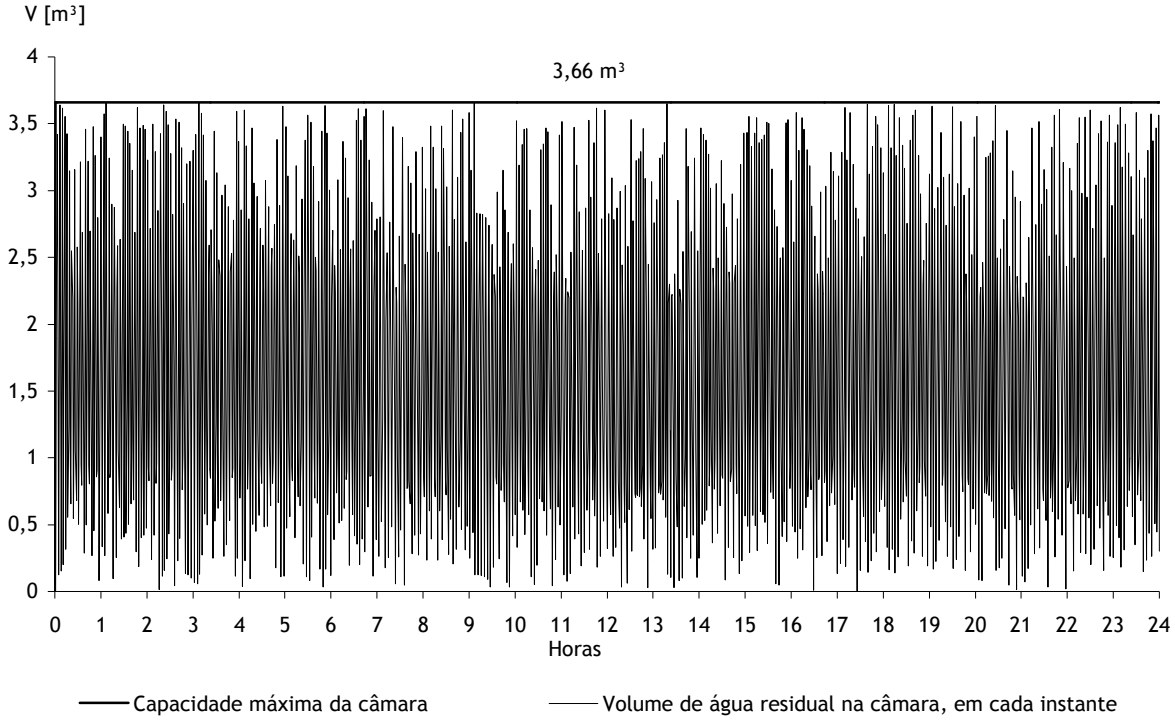
Ponderação dos Indicadores:



Contribuição de cada Indicador:

Energia	(0,56)	5
Volume na câmara	(0,00)	5
Nº de arranques	(30 /h)	1
Tempo de retenção	(11 min)	5
Velocidade	(2,12 m/s)	0
Índice de desempenho global		4,55

Volume de Água Residual na Câmara de Aspiração (sem contar com o Volume de Reserva)

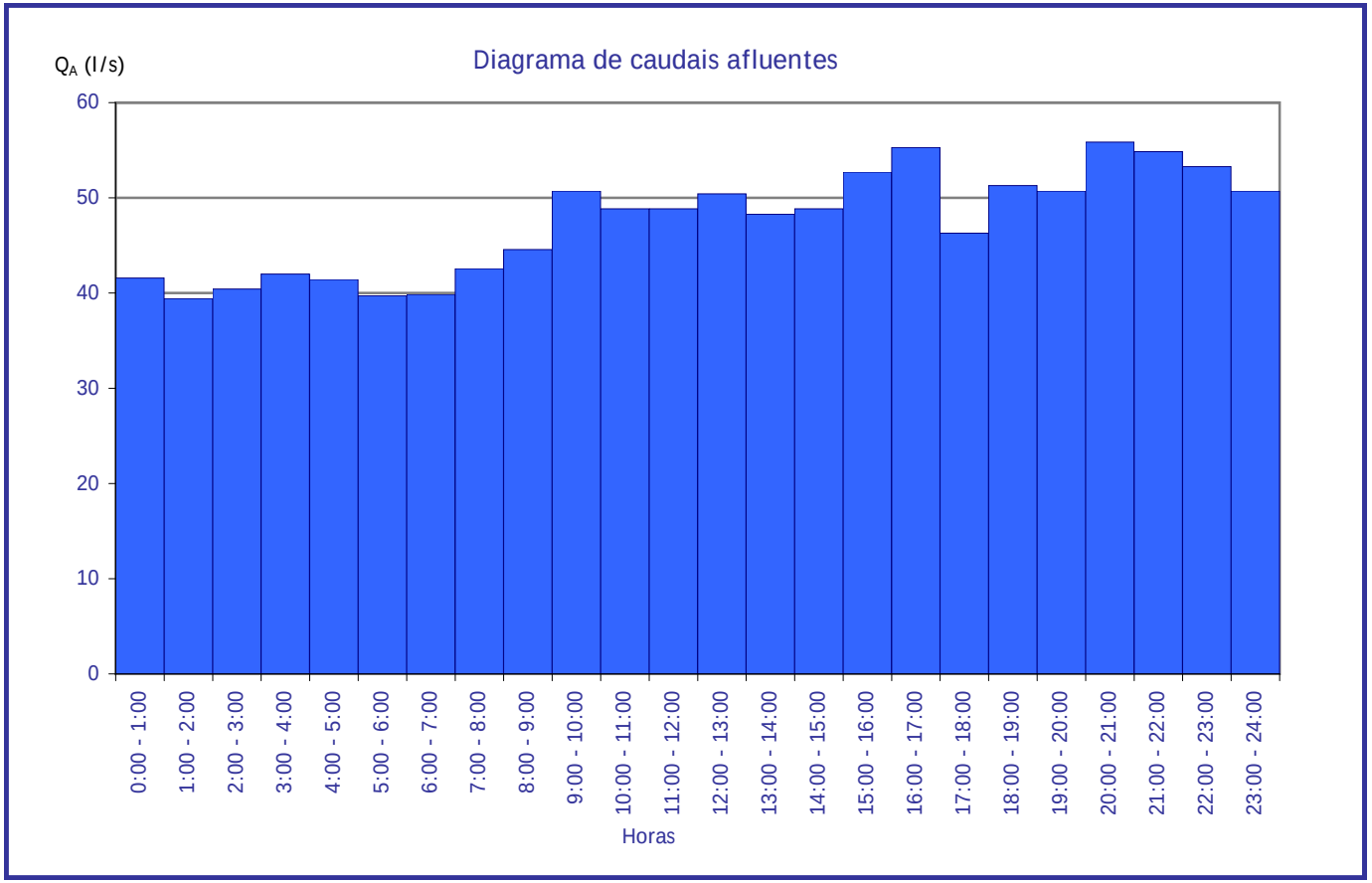


Identificação do Projecto:

Semana 4 (duas bombas em simultâneo)

• **Um dia tipo**

Horas	Q_A (l/s)
0:00 - 1:00	41,6
1:00 - 2:00	39,4
2:00 - 3:00	40,4
3:00 - 4:00	42,0
4:00 - 5:00	41,4
5:00 - 6:00	39,7
6:00 - 7:00	39,9
7:00 - 8:00	42,6
8:00 - 9:00	44,6
9:00 - 10:00	50,7
10:00 - 11:00	48,9
11:00 - 12:00	48,9
12:00 - 13:00	50,4
13:00 - 14:00	48,3
14:00 - 15:00	48,9
15:00 - 16:00	52,7
16:00 - 17:00	55,3
17:00 - 18:00	46,3
18:00 - 19:00	51,3
19:00 - 20:00	50,7
20:00 - 21:00	55,9
21:00 - 22:00	54,9
22:00 - 23:00	53,3
23:00 - 24:00	50,7



Modelação Hidráulica da Exploração de Sistemas Elevatórios de Águas Residuais

versão 0 | 2008-02-04

Caudal afluente - Q_A:	54,4 l/s
Caudal bombado - Q_B:	59,0 l/s

Conduta Elevatória

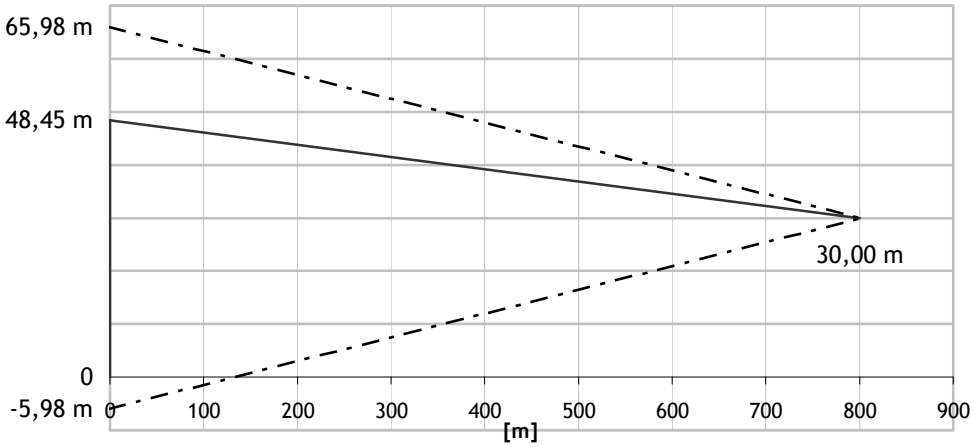
Material:	PVC
Diâmetro:	Ø200 (188,2 mm)
Inclinação - i:	3,8%
Extensão - L:	800,00 m

Velocidade do Escoamento - U:	2,12 m/s
Desnível geométrico - Δz:	30,00 m
Perda de carga unitária - j:	0,023 m/m
Perdas de carga localizadas - ΔH_{Loc}:	0,00 m
Perda de carga TOTAL - ΔH_{TOTAL}:	18,45 m
Altura manométrica - H_M:	48,45 m

Análise do Choque Hidráulico:

Celeridade - a:	285,9 m/s
Fase - μ:	5,60 s
Tempo de anulação do caudal (Rosich) - T:	6,36 s
Classificação da manobra →	Manobra Lenta
Variação máx. da linha de energia - ΔH_{CH}:	54,43 m

Linha de Energia e Envolvente do Choque Hidráulico

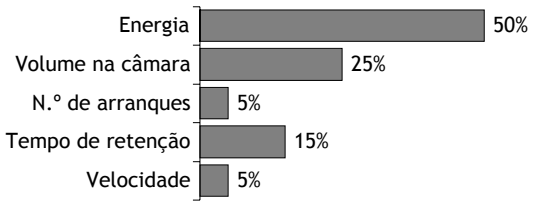


Câmara de Aspiração

Tempo de enchimento da câmara de aspiração	t_1	67 s	1,1 min	0,02 h
Tempo de funcionamento da bomba (por ciclo)	t_2	803 s	13,4 min	0,22 h
Tempo que a partícula demora a percorrer a conduta	t_3	377 s	6,3 min	0,10 h
Tempo que a partícula se encontra parada na conduta	t_4	67 s	1,1 min	0,02 h
Número de ciclos	ω		0,47	
Tempo de retenção na conduta	t_c	444 s	7,4 min	0,12 h
Número de arranques, por unidade de tempo	Z	0 /s	0,1 /min	4,14 /h

Análise de Desempenho

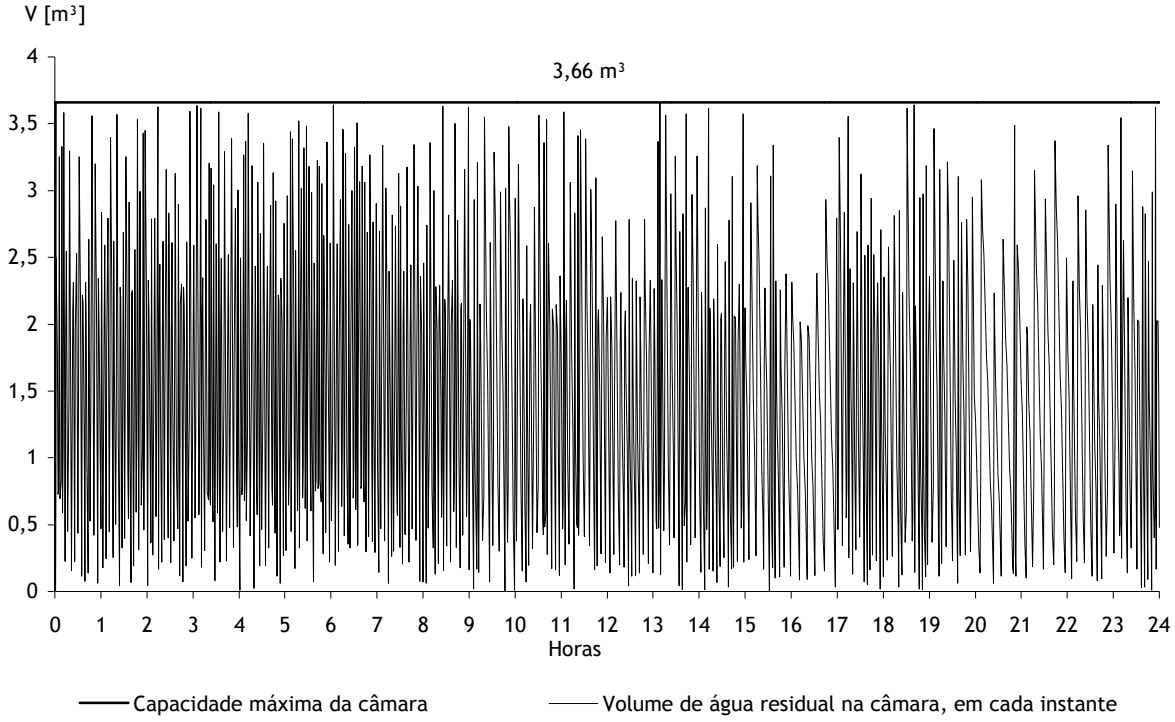
Ponderação dos Indicadores:



Contribuição de cada Indicador:

Energia	(0,63)	4
Volume na câmara	(0,00)	5
Nº de arranques	(28 /h)	1
Tempo de retenção	(7 min)	5
Velocidade	(2,12 m/s)	0
Índice de desempenho global		4,05

Volume de Água Residual na Câmara de Aspiração (sem contar com o Volume de Reserva)

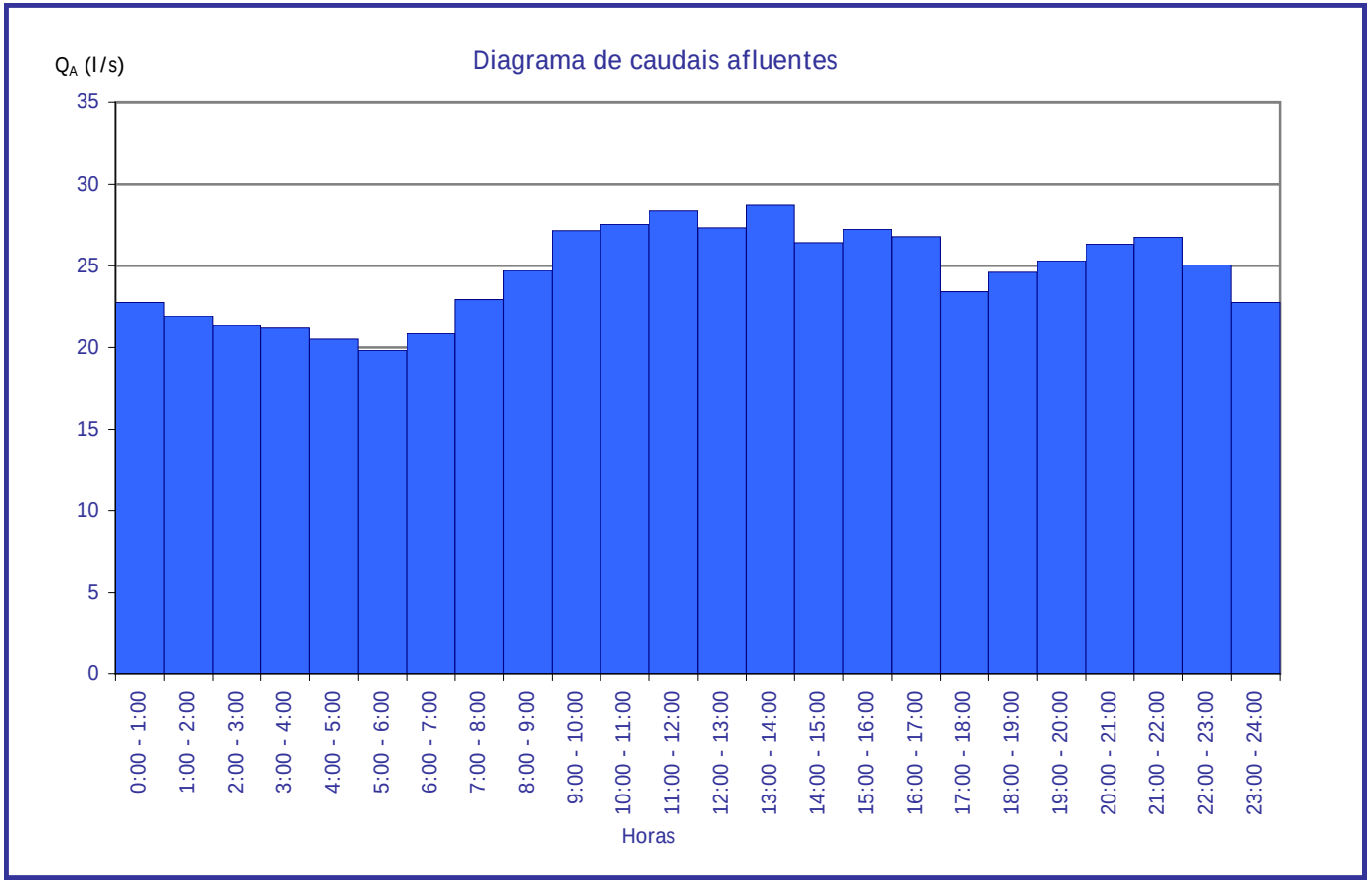


Identificação do Projecto:

Semana 5 (duas bombas em simultâneo)

• **Um dia tipo**

Horas	Q_A (l/s)
0:00 - 1:00	22,7
1:00 - 2:00	21,9
2:00 - 3:00	21,4
3:00 - 4:00	21,2
4:00 - 5:00	20,5
5:00 - 6:00	19,8
6:00 - 7:00	20,9
7:00 - 8:00	22,9
8:00 - 9:00	24,7
9:00 - 10:00	27,2
10:00 - 11:00	27,6
11:00 - 12:00	28,4
12:00 - 13:00	27,3
13:00 - 14:00	28,7
14:00 - 15:00	26,4
15:00 - 16:00	27,3
16:00 - 17:00	26,8
17:00 - 18:00	23,4
18:00 - 19:00	24,6
19:00 - 20:00	25,3
20:00 - 21:00	26,3
21:00 - 22:00	26,8
22:00 - 23:00	25,1
23:00 - 24:00	22,7



Modelação Hidráulica da Exploração de Sistemas Elevatórios de Águas Residuais

versão 0 | 2008-02-04

Caudal afluente - Q_A:	28,1 l/s
Caudal bombado - Q_B:	32,0 l/s

Conduta Elevatória

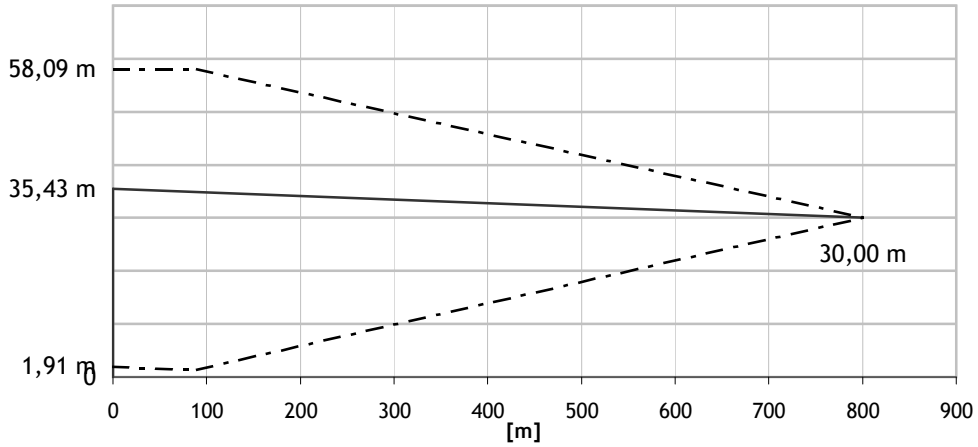
Material:	PVC
Diâmetro:	Ø200 (188,2 mm)
Inclinação - i:	3,8%
Extensão - L:	800,00 m

Velocidade do Escoamento - U:	1,15 m/s
Desnível geométrico - Δz:	30,00 m
Perda de carga unitária - j:	0,007 m/m
Perdas de carga localizadas - ΔH_{Loc}:	0,00 m
Perda de carga TOTAL - ΔH_{TOTAL}:	5,43 m
Altura manométrica - H_M:	35,43 m

Análise do Choque Hidráulico:

Celeridade - a:	285,9 m/s
Fase - μ:	5,60 s
Tempo de anulação do caudal (Rosich) - T:	4,97 s
Classificação da manobra →	Manobra Rápida
Variação máx. da linha de energia - ΔH_{CH}:	33,52 m

Linha de Energia e Envolvente do Choque Hidráulico

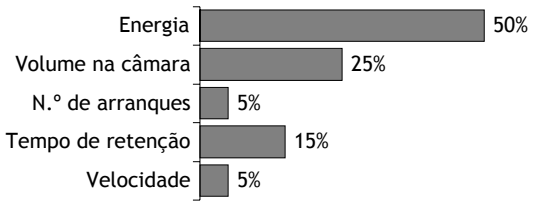


Câmara de Aspiração

Tempo de enchimento da câmara de aspiração	t_1	130 s	2,2 min	0,04 h
Tempo de funcionamento da bomba (por ciclo)	t_2	934 s	15,6 min	0,26 h
Tempo que a partícula demora a percorrer a conduta	t_3	695 s	11,6 min	0,19 h
Tempo que a partícula se encontra parada na conduta	t_4	261 s	4,3 min	0,07 h
Número de ciclos	ω		0,74	
Tempo de retenção na conduta	t_c	956 s	15,9 min	0,27 h
Número de arranques, por unidade de tempo	Z	0 /s	0,1 /min	3,38 /h

Análise de Desempenho

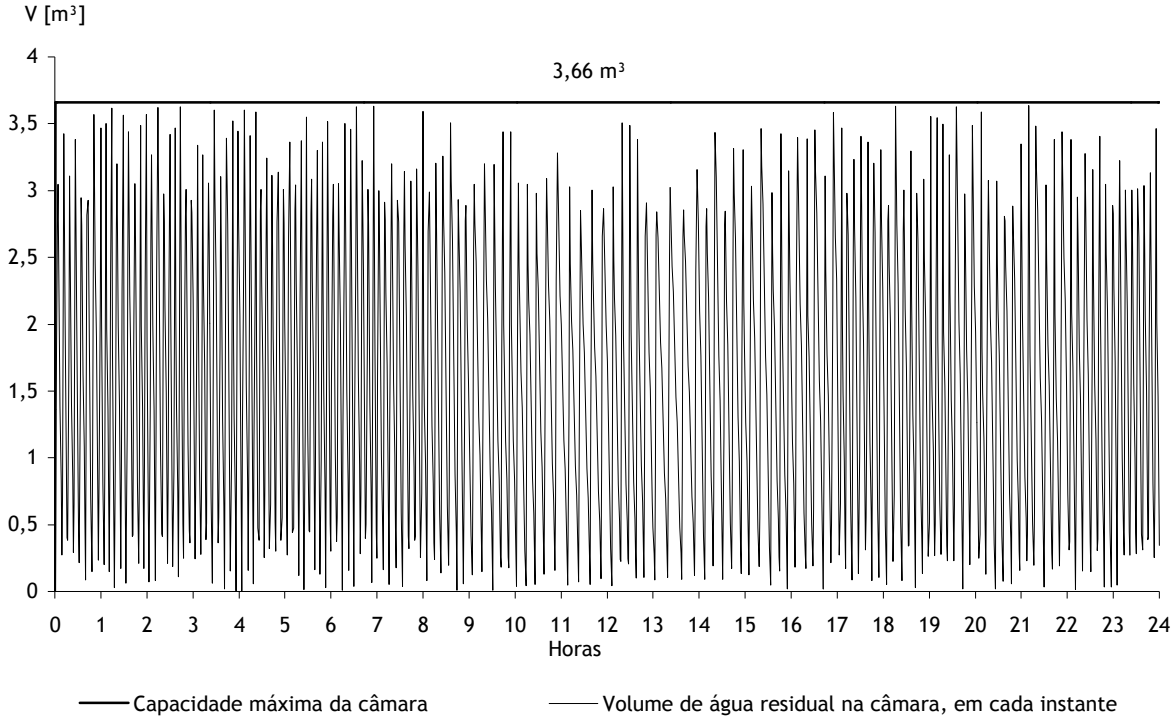
Ponderação dos Indicadores:



Contribuição de cada Indicador:

Energia	(0,61)	4
Volume na câmara	(0,00)	5
Nº de arranques	(17 /h)	3
Tempo de retenção	(16 min)	5
Velocidade	(1,15 m/s)	4
Índice de desempenho global		4,35

Volume de Água Residual na Câmara de Aspiração (sem contar com o Volume de Reserva)



Identificação do Projecto:

Período completo

A 8

Modelação Hidráulica da Exploração de Sistemas Elevatórios de Águas Residuais

versão 0 | 2008-02-04

Caudal afluente - Q_A:	18,6 l/s
Caudal bombado - Q_B:	27,0 l/s

Conduta Elevatória

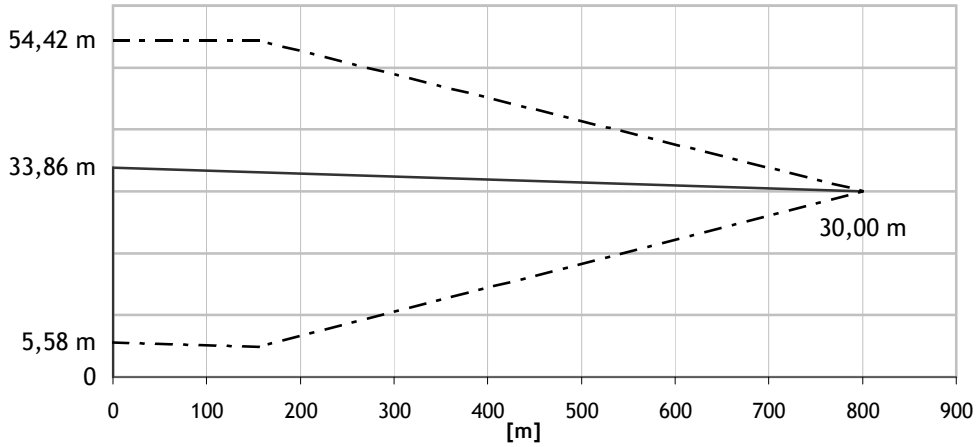
Material:	PVC
Diâmetro:	Ø200 (188,2 mm)
Inclinação - i:	3,8%
Extensão - L:	800,00 m

Velocidade do Escoamento - U:	0,97 m/s
Desnível geométrico - Δz:	30,00 m
Perda de carga unitária - j:	0,005 m/m
Perdas de carga localizadas - ΔH_{Loc}:	0,00 m
Perda de carga TOTAL - ΔH_{TOTAL}:	3,86 m
Altura manométrica - H_M:	33,86 m

Análise do Choque Hidráulico:

Celeridade - a:	285,9 m/s
Fase - μ:	5,60 s
Tempo de anulação do caudal (Rosich) - T:	4,51 s
Classificação da manobra →	Manobra Rápida
Variação máx. da linha de energia - ΔH_{CH}:	28,28 m

Linha de Energia e Envolvente do Choque Hidráulico

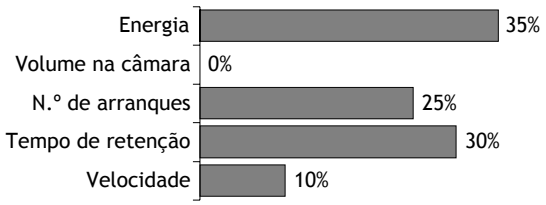


Câmara de Aspiração

Tempo de enchimento da câmara de aspiração	t_1	196 s	3,3 min	0,05 h
Tempo de funcionamento da bomba (por ciclo)	t_2	437 s	7,3 min	0,12 h
Tempo que a partícula demora a percorrer a conduta	t_3	824 s	13,7 min	0,23 h
Tempo que a partícula se encontra parada na conduta	t_4	589 s	9,8 min	0,16 h
Número de ciclos	ω		1,89	
Tempo de retenção na conduta	t_c	1 414 s	23,6 min	0,39 h
Número de arranques, por unidade de tempo	Z	0 /s	0,1 /min	5,68 /h

Análise de Desempenho

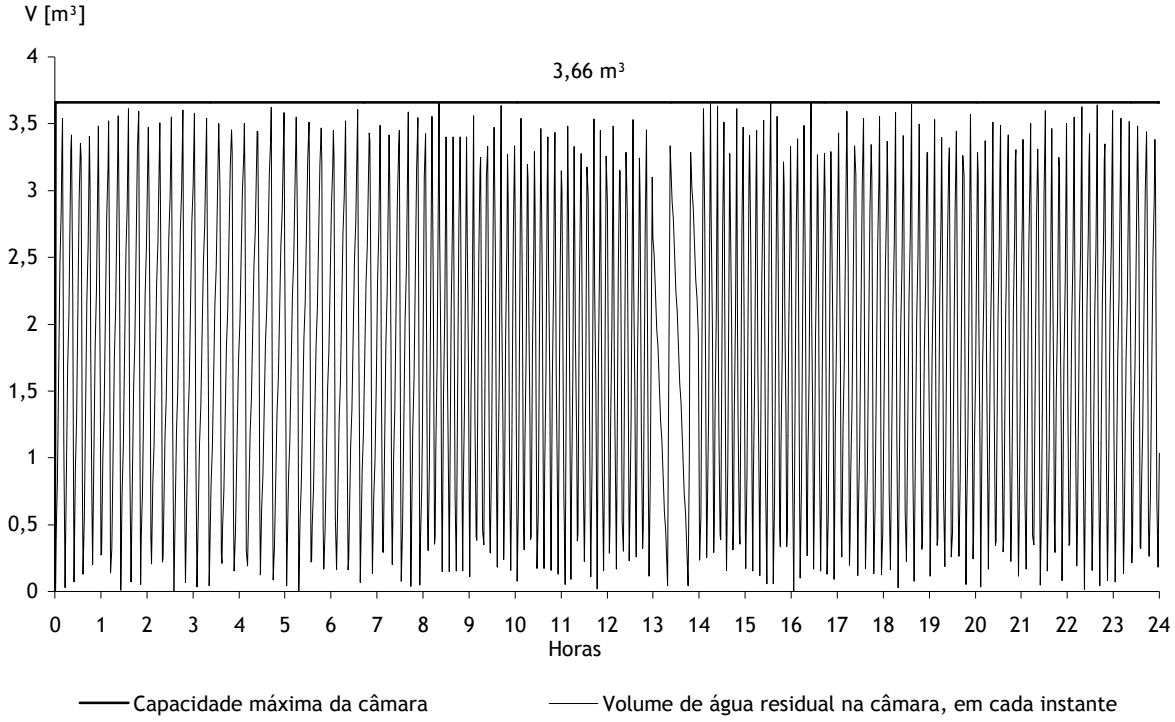
Ponderação dos Indicadores:



Contribuição de cada Indicador:

Energia	(0,61)	4
Volume na câmara	(0,00)	5
Nº de arranques	(15 /h)	4
Tempo de retenção	(24 min)	5
Velocidade	(0,97 m/s)	5
Índice de desempenho global		4,40

Volume de Água Residual na Câmara de Aspiração (sem contar com o Volume de Reserva)



Identificação do Projecto:

Semana 1, com ponderações ajustadas

Modelação Hidráulica da Exploração de Sistemas Elevatórios de Águas Residuais

versão 0 | 2008-02-04

Caudal afluente - Q_A:	15,3 l/s
Caudal bombado - Q_B:	27,0 l/s

Conduta Elevatória

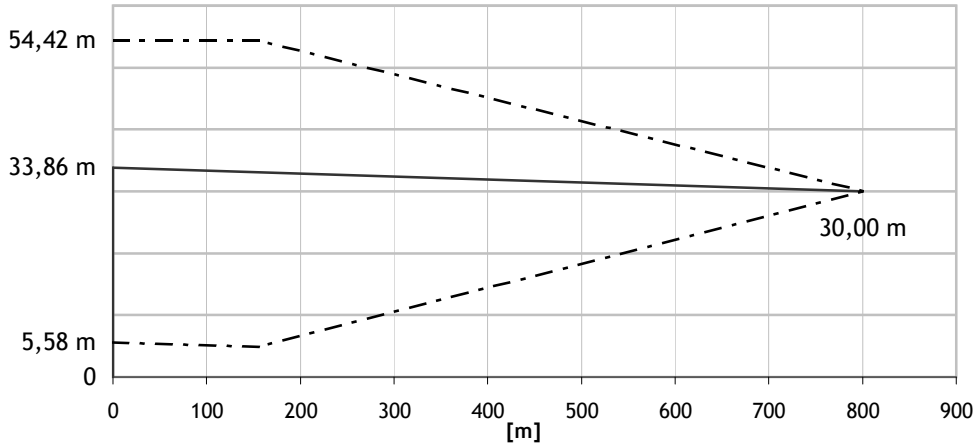
Material:	PVC
Diâmetro:	Ø200 (188,2 mm)
Inclinação - i:	3,8%
Extensão - L:	800,00 m

Velocidade do Escoamento - U:	0,97 m/s
Desnível geométrico - Δz:	30,00 m
Perda de carga unitária - j:	0,005 m/m
Perdas de carga localizadas - ΔH_{Loc}:	0,00 m
Perda de carga TOTAL - ΔH_{TOTAL}:	3,86 m
Altura manométrica - H_M:	33,86 m

Análise do Choque Hidráulico:

Celeridade - a:	285,9 m/s
Fase - μ:	5,60 s
Tempo de anulação do caudal (Rosich) - T:	4,51 s
Classificação da manobra →	Manobra Rápida
Variação máx. da linha de energia - ΔH_{CH}:	28,28 m

Linha de Energia e Envolvente do Choque Hidráulico

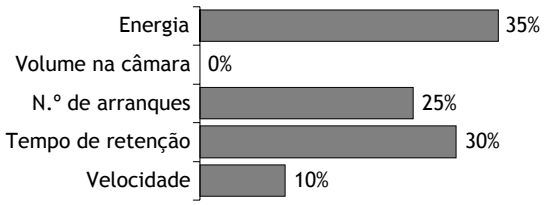


Câmara de Aspiração

Tempo de enchimento da câmara de aspiração	t_1	239 s	4,0 min	0,07 h
Tempo de funcionamento da bomba (por ciclo)	t_2	313 s	5,2 min	0,09 h
Tempo que a partícula demora a percorrer a conduta	t_3	824 s	13,7 min	0,23 h
Tempo que a partícula se encontra parada na conduta	t_4	957 s	16,0 min	0,27 h
Número de ciclos	ω		2,64	
Tempo de retenção na conduta	t_c	1 782 s	29,7 min	0,49 h
Número de arranques, por unidade de tempo	Z	0 /s	0,1 /min	6,52 /h

Análise de Desempenho

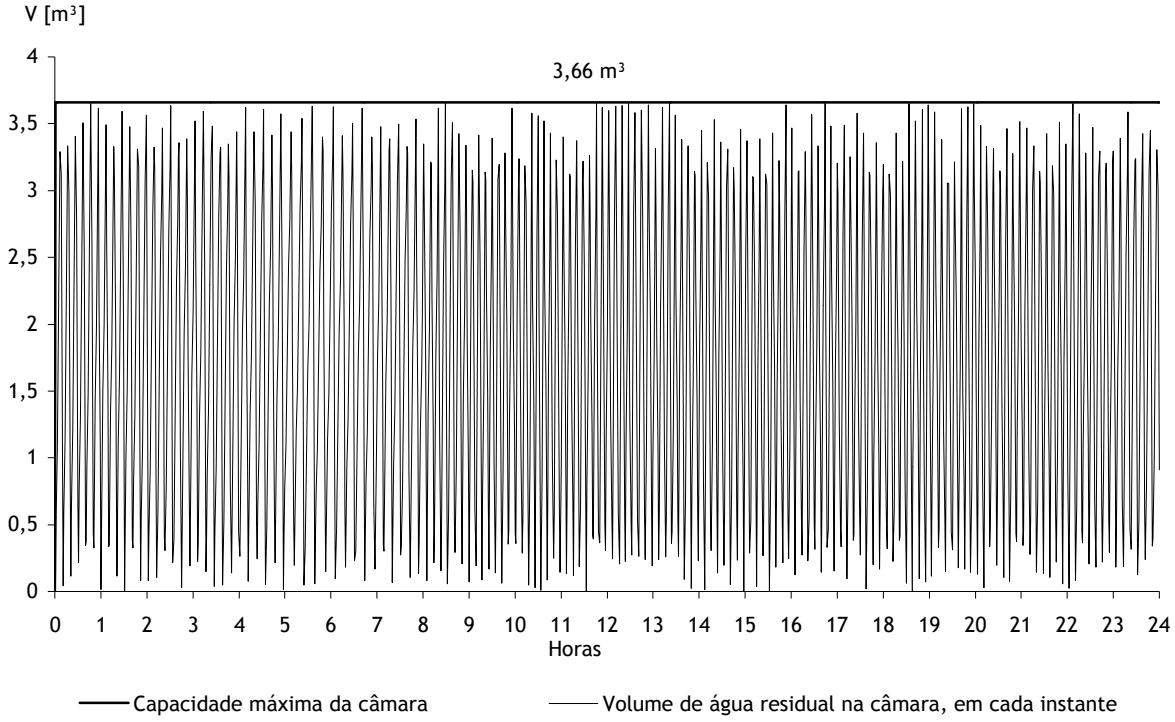
Ponderação dos Indicadores:



Contribuição de cada Indicador:

Energia	(0,62)	4
Volume na câmara	(0,00)	5
Nº de arranques	(15 /h)	4
Tempo de retenção	(30 min)	5
Velocidade	(0,97 m/s)	5
Índice de desempenho global		4,40

Volume de Água Residual na Câmara de Aspiração (sem contar com o Volume de Reserva)



Identificação do Projecto:

Semana 2, com ponderações ajustadas

Modelação Hidráulica da Exploração de Sistemas Elevatórios de Águas Residuais

versão 0 | 2008-02-04

Caudal afluente - Q_A:	20,3 l/s
Caudal bombado - Q_B:	27,0 l/s

Conduta Elevatória

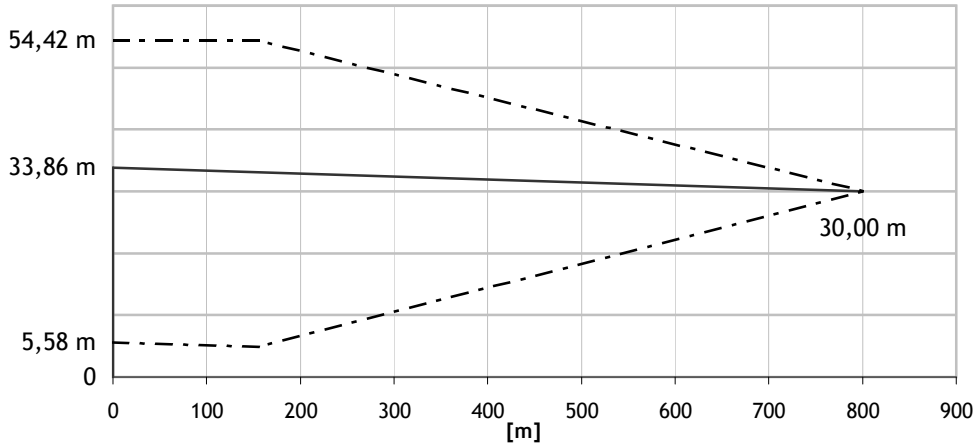
Material:	PVC
Diâmetro:	Ø200 (188,2 mm)
Inclinação - i:	3,8%
Extensão - L:	800,00 m

Velocidade do Escoamento - U:	0,97 m/s
Desnível geométrico - Δz:	30,00 m
Perda de carga unitária - j:	0,005 m/m
Perdas de carga localizadas - ΔH_{Loc}:	0,00 m
Perda de carga TOTAL - ΔH_{TOTAL}:	3,86 m
Altura manométrica - H_M:	33,86 m

Análise do Choque Hidráulico:

Celeridade - a:	285,9 m/s
Fase - μ:	5,60 s
Tempo de anulação do caudal (Rosich) - T:	4,51 s
Classificação da manobra →	Manobra Rápida
Variação máx. da linha de energia - ΔH_{CH}:	28,28 m

Linha de Energia e Envolvente do Choque Hidráulico

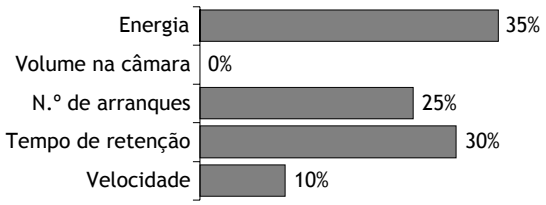


Câmara de Aspiração

Tempo de enchimento da câmara de aspiração	t_1	180 s	3,0 min	0,05 h
Tempo de funcionamento da bomba (por ciclo)	t_2	546 s	9,1 min	0,15 h
Tempo que a partícula demora a percorrer a conduta	t_3	824 s	13,7 min	0,23 h
Tempo que a partícula se encontra parada na conduta	t_4	541 s	9,0 min	0,15 h
Número de ciclos	ω		1,51	
Tempo de retenção na conduta	t_c	1 365 s	22,8 min	0,38 h
Número de arranques, por unidade de tempo	Z	0 /s	0,1 /min	4,96 /h

Análise de Desempenho

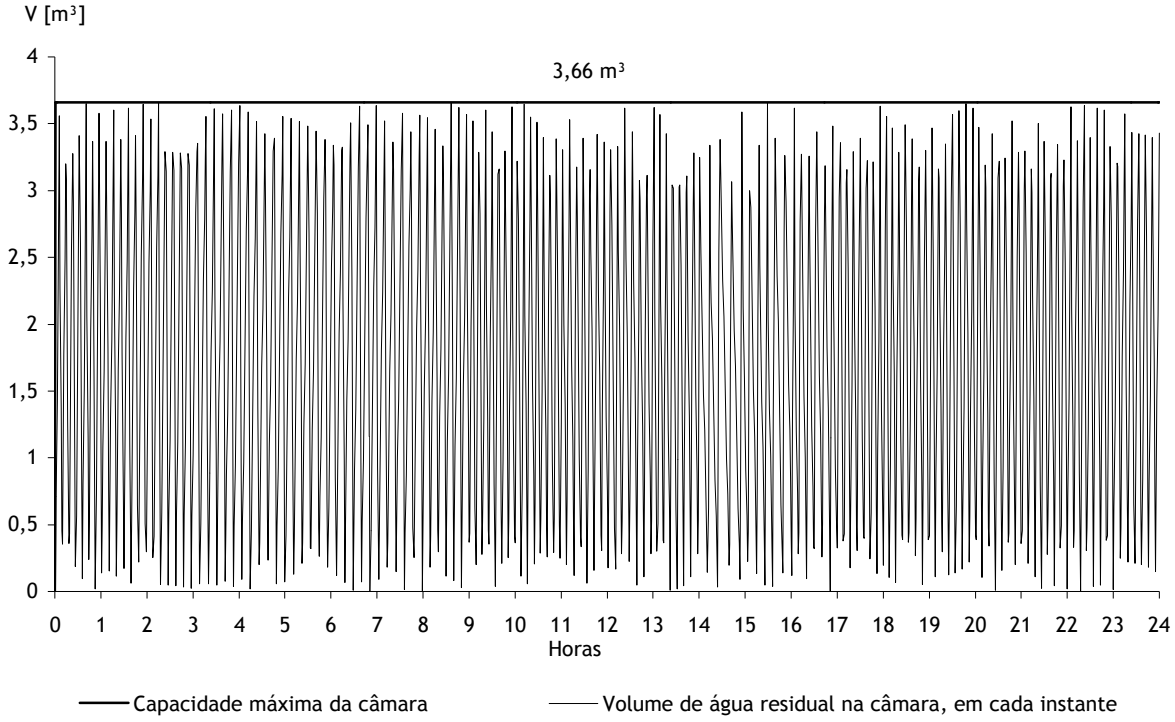
Ponderação dos Indicadores:



Contribuição de cada Indicador:

Energia	(0,61)	4
Volume na câmara	(0,00)	5
Nº de arranques	(15 /h)	4
Tempo de retenção	(23 min)	5
Velocidade	(0,97 m/s)	5
Índice de desempenho global		4,40

Volume de Água Residual na Câmara de Aspiração (sem contar com o Volume de Reserva)



Identificação do Projecto:

Semana 3, com ponderações ajustadas

Modelação Hidráulica da Exploração de Sistemas Elevatórios de Águas Residuais

versão 0 | 2008-02-04

Caudal afluente - Q_A:	41,1 l/s
Caudal bombado - Q_B:	59,0 l/s

Conduta Elevatória

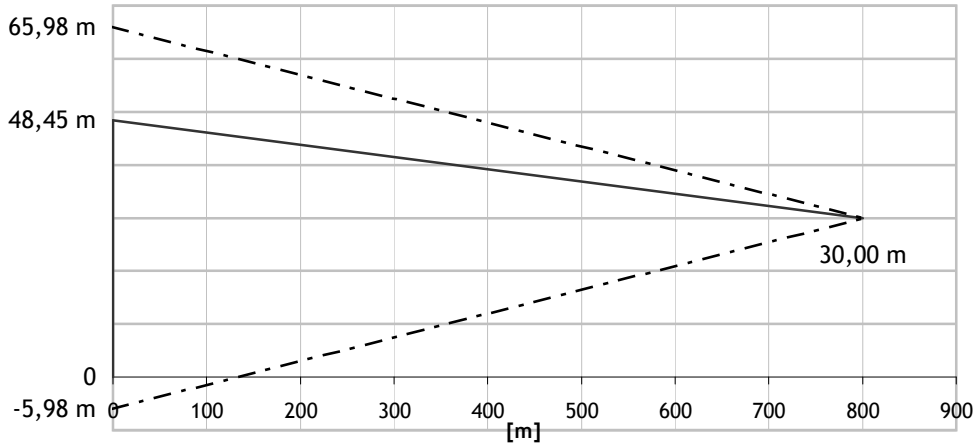
Material:	PVC
Diâmetro:	Ø200 (188,2 mm)
Inclinação - i:	3,8%
Extensão - L:	800,00 m

Velocidade do Escoamento - U:	2,12 m/s
Desnível geométrico - Δz:	30,00 m
Perda de carga unitária - j:	0,023 m/m
Perdas de carga localizadas - ΔH_{Loc}:	0,00 m
Perda de carga TOTAL - ΔH_{TOTAL}:	18,45 m
Altura manométrica - H_M:	48,45 m

Análise do Choque Hidráulico:

Celeridade - a:	285,9 m/s
Fase - μ:	5,60 s
Tempo de anulação do caudal (Rosich) - T:	6,36 s
Classificação da manobra →	Manobra Lenta
Variação máx. da linha de energia - ΔH_{CH}:	54,43 m

Linha de Energia e Envolvente do Choque Hidráulico

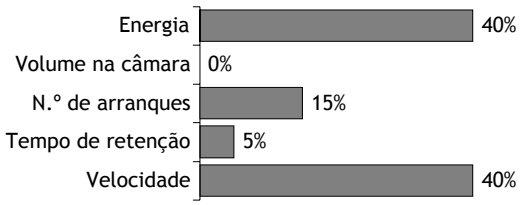


Câmara de Aspiração

Tempo de enchimento da câmara de aspiração	t_1	89 s	1,5 min	0,02 h
Tempo de funcionamento da bomba (por ciclo)	t_2	204 s	3,4 min	0,06 h
Tempo que a partícula demora a percorrer a conduta	t_3	377 s	6,3 min	0,10 h
Tempo que a partícula se encontra parada na conduta	t_4	267 s	4,5 min	0,07 h
Número de ciclos	ω		1,85	
Tempo de retenção na conduta	t_c	645 s	10,7 min	0,18 h
Número de arranques, por unidade de tempo	Z	0 /s	0,2 /min	12,28 /h

Análise de Desempenho

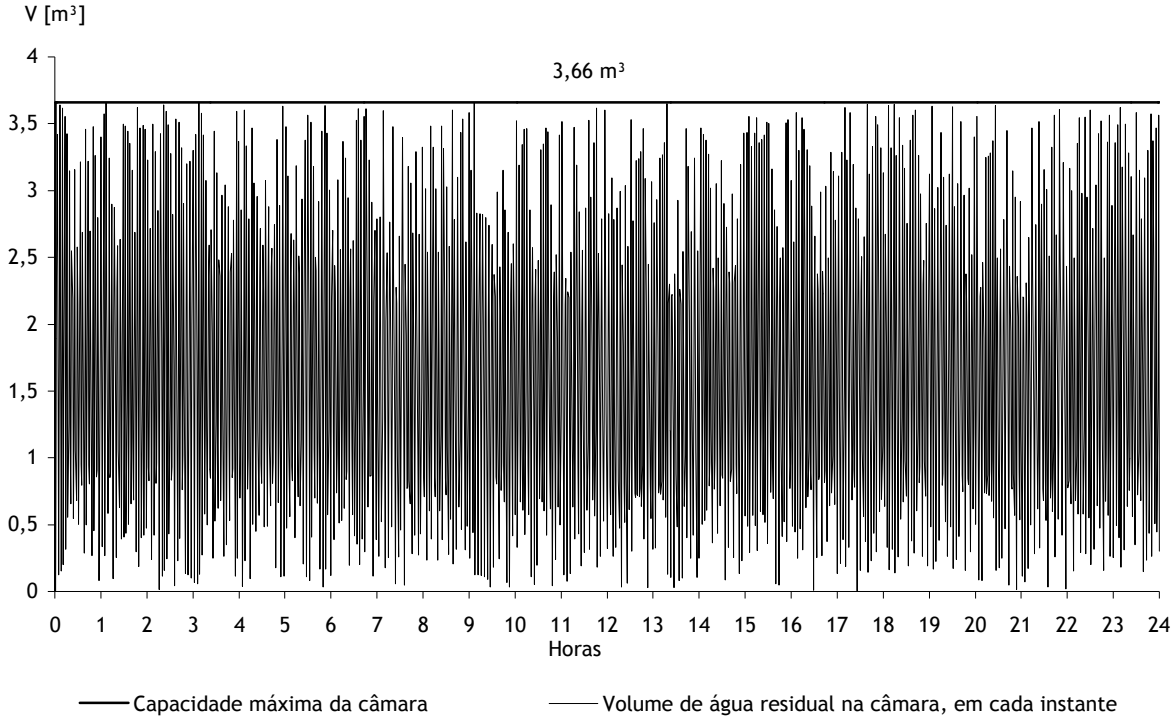
Ponderação dos Indicadores:



Contribuição de cada Indicador:

Energia	(0,56)	5
Volume na câmara	(0,00)	5
Nº de arranques	(30 /h)	1
Tempo de retenção	(11 min)	5
Velocidade	(2,12 m/s)	0
Índice de desempenho global		2,40

Volume de Água Residual na Câmara de Aspiração (sem contar com o Volume de Reserva)



Identificação do Projecto:

Semana 4, com ponderações ajustadas

Modelação Hidráulica da Exploração de Sistemas Elevatórios de Águas Residuais

versão 0 | 2008-02-04

Caudal afluente - Q_A:	54,4 l/s
Caudal bombado - Q_B:	59,0 l/s

Conduta Elevatória

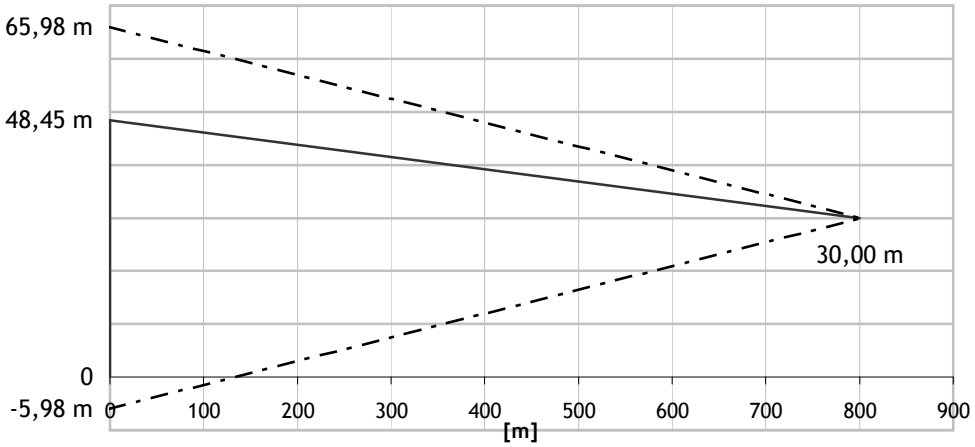
Material:	PVC
Diâmetro:	Ø200 (188,2 mm)
Inclinação - i:	3,8%
Extensão - L:	800,00 m

Velocidade do Escoamento - U:	2,12 m/s
Desnível geométrico - Δz:	30,00 m
Perda de carga unitária - j:	0,023 m/m
Perdas de carga localizadas - ΔH_{Loc}:	0,00 m
Perda de carga TOTAL - ΔH_{TOTAL}:	18,45 m
Altura manométrica - H_M:	48,45 m

Análise do Choque Hidráulico:

Celeridade - a:	285,9 m/s
Fase - μ:	5,60 s
Tempo de anulação do caudal (Rosich) - T:	6,36 s
Classificação da manobra →	Manobra Lenta
Variação máx. da linha de energia - ΔH_{CH}:	54,43 m

Linha de Energia e Envolvente do Choque Hidráulico

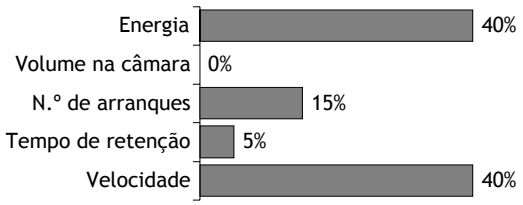


Câmara de Aspiração

Tempo de enchimento da câmara de aspiração	t_1	67 s	1,1 min	0,02 h
Tempo de funcionamento da bomba (por ciclo)	t_2	803 s	13,4 min	0,22 h
Tempo que a partícula demora a percorrer a conduta	t_3	377 s	6,3 min	0,10 h
Tempo que a partícula se encontra parada na conduta	t_4	67 s	1,1 min	0,02 h
Número de ciclos	ω		0,47	
Tempo de retenção na conduta	t_c	444 s	7,4 min	0,12 h
Número de arranques, por unidade de tempo	Z	0 /s	0,1 /min	4,14 /h

Análise de Desempenho

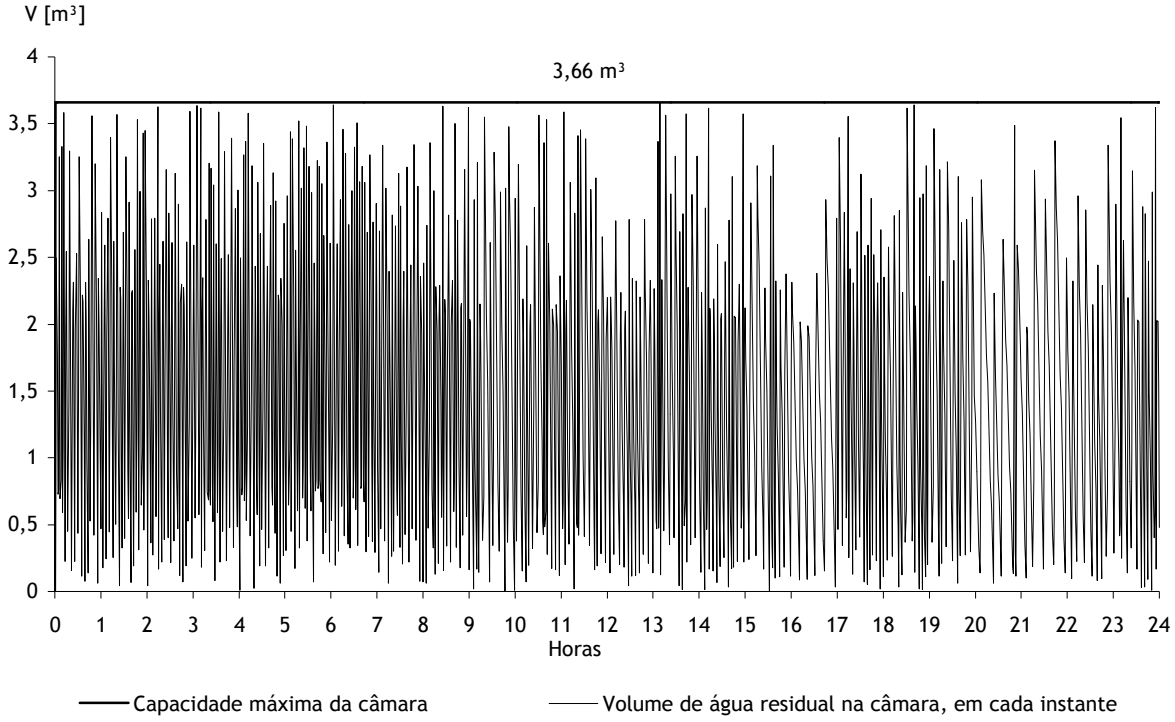
Ponderação dos Indicadores:



Contribuição de cada Indicador:

Energia	(0,63)	4
Volume na câmara	(0,00)	5
Nº de arranques	(28 /h)	1
Tempo de retenção	(7 min)	5
Velocidade	(2,12 m/s)	0
Índice de desempenho global		2,00

Volume de Água Residual na Câmara de Aspiração (sem contar com o Volume de Reserva)



Identificação do Projecto:

Semana 5, com ponderações ajustadas

Modelação Hidráulica da Exploração de Sistemas Elevatórios de Águas Residuais

versão 0 | 2008-02-04

Caudal afluente - Q_A:	28,1 l/s
Caudal bombado - Q_B:	32,0 l/s

Conduta Elevatória

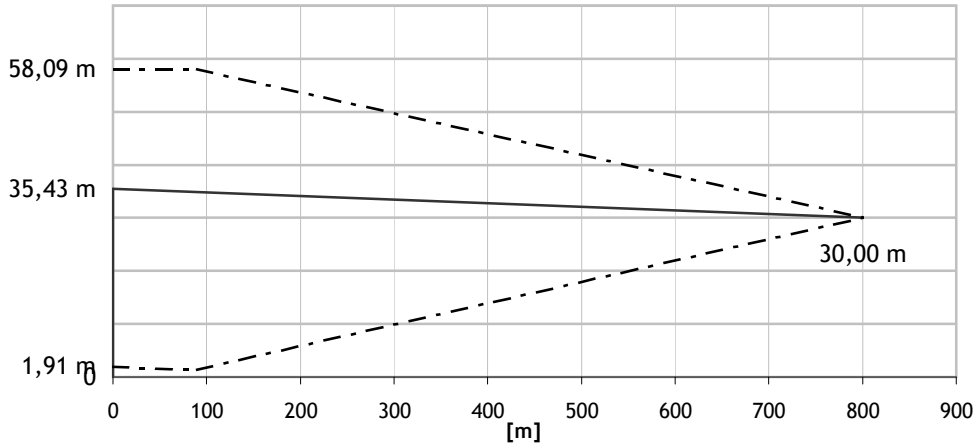
Material:	PVC
Diâmetro:	Ø200 (188,2 mm)
Inclinação - i:	3,8%
Extensão - L:	800,00 m

Velocidade do Escoamento - U:	1,15 m/s
Desnível geométrico - Δz:	30,00 m
Perda de carga unitária - j:	0,007 m/m
Perdas de carga localizadas - ΔH_{Loc}:	0,00 m
Perda de carga TOTAL - ΔH_{TOTAL}:	5,43 m
Altura manométrica - H_M:	35,43 m

Análise do Choque Hidráulico:

Celeridade - a:	285,9 m/s
Fase - μ:	5,60 s
Tempo de anulação do caudal (Rosich) - T:	4,97 s
Classificação da manobra →	Manobra Rápida
Variação máx. da linha de energia - ΔH_{CH}:	33,52 m

Linha de Energia e Envolvente do Choque Hidráulico

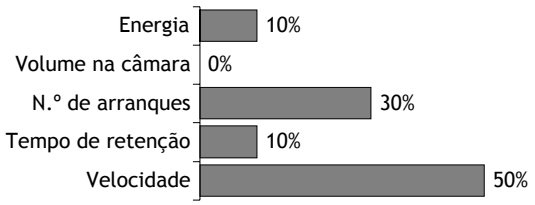


Câmara de Aspiração

Tempo de enchimento da câmara de aspiração	t_1	130 s	2,2 min	0,04 h
Tempo de funcionamento da bomba (por ciclo)	t_2	934 s	15,6 min	0,26 h
Tempo que a partícula demora a percorrer a conduta	t_3	695 s	11,6 min	0,19 h
Tempo que a partícula se encontra parada na conduta	t_4	261 s	4,3 min	0,07 h
Número de ciclos	ω		0,74	
Tempo de retenção na conduta	t_c	956 s	15,9 min	0,27 h
Número de arranques, por unidade de tempo	Z	0 /s	0,1 /min	3,38 /h

Análise de Desempenho

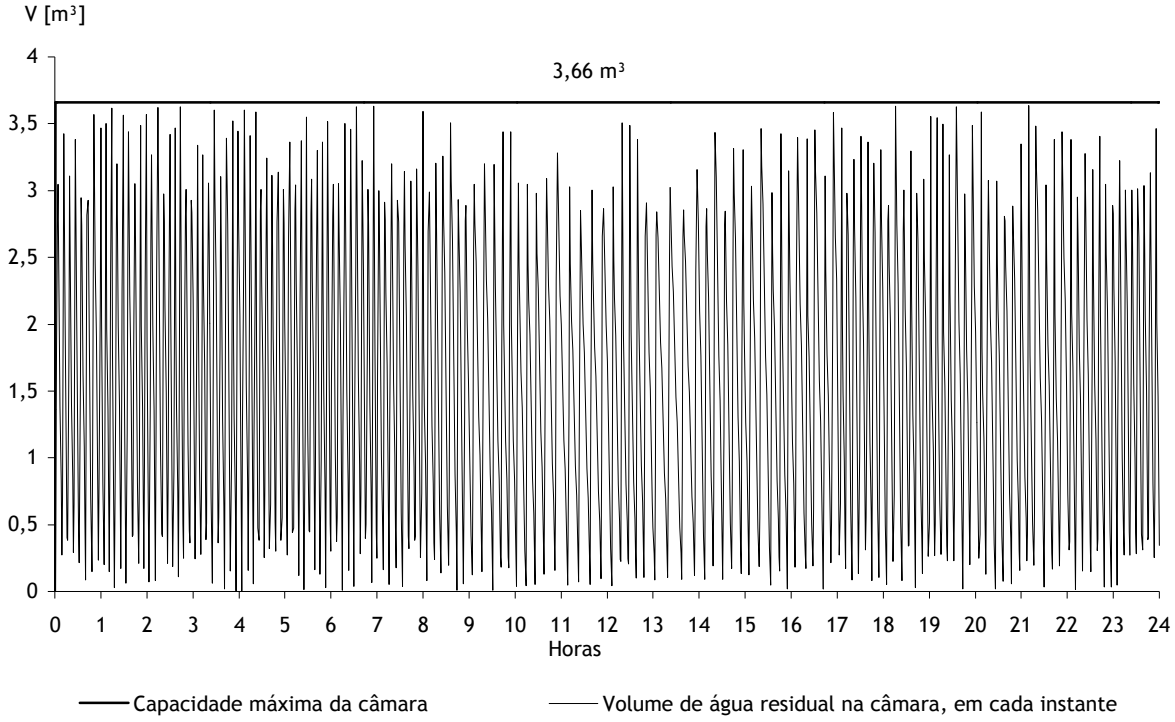
Ponderação dos Indicadores:



Contribuição de cada Indicador:

Energia	(0,61)	4
Volume na câmara	(0,00)	5
Nº de arranques	(17 /h)	3
Tempo de retenção	(16 min)	5
Velocidade	(1,15 m/s)	4
Índice de desempenho global		3,80

Volume de Água Residual na Câmara de Aspiração (sem contar com o Volume de Reserva)



Identificação do Projecto:

Período completo, com ponderações ajustadas