



**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE  
TECNOLOGIAS DE CONTROLO DE CAUDAIS – APLICAÇÃO A CASOS  
DE ESTUDO**

**JOÃO TIAGO MALHÃO DAS NEVES**

**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

ORIENTADORA: PROF.<sup>a</sup> DR.<sup>a</sup> ENG.<sup>a</sup> FILIPA MARIA SANTOS FERREIRA

OORIENTADORA: ENG.<sup>a</sup> VANDA VALENTIM BARROSO

**JÚRI**

PRESIDENTE: PROF. DR. RODRIGO DE ALMADA CARDOSO PROENÇA DE OLIVEIRA

ORIENTADORA: PROF.<sup>a</sup> DR.<sup>a</sup> FILIPA MARIA SANTOS FERREIRA

VOGAL: DR.<sup>a</sup> RITA SOFIA DIAS SALGADO BRITO

**OUTUBRO 2017**





**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE  
TECNOLOGIAS DE CONTROLO DE CAUDAIS – APLICAÇÃO A CASOS  
DE ESTUDO**

**JOÃO TIAGO NEVES**

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

Dissertação apresentada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico de Lisboa, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Filipa Maria Santos Ferreira

Oorientadora: Eng.<sup>a</sup> Vanda Valentim Barroso

**OUTUBRO 2017**

LISBOA, PORTUGAL

*Aos meus pais pela educação que me permitiu sempre perseguir aquilo em que acredito, aos meus avós pelo afeto demonstrado, a todos os familiares. Aos meus tolerantes amigos e colegas.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao esforço essencialmente.

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais e avós, que permitiram que obtivesse a educação necessária a perseguir sempre aquilo em que acredito.

Em segundo, a todos os meus amigos que me desafiaram todos os dias e com os quais partilhei momentos de pura alegria, mas também de dificuldade. Com eles cresci e continuarei a crescer.

A todos os professores que me transmitiram os conhecimentos que servirão de base ao meu pensamento e crescimento quer profissional, quer pessoal.

À professora engenheira Filipa Maria Santos Ferreira, pela orientação desta dissertação de mestrado e tamanha disponibilidade.

À engenheira Vanda Barroso e a toda a equipa da SIMTEJO e Águas de Portugal, pela valiosa contribuição e disponibilidade para o desenvolvimento da presente dissertação.

Não posso esquecer também o contributo dado à elaboração do presente documento por parte dos seguintes intervenientes:

- Eng. Hugo Ferreira (Direção de Engenharia);
- Eng.<sup>a</sup> Sara Proença (Direção de Engenharia);
- Eng. Paulo Inocêncio e Eng. Hugo Cunha (Direção de Operações de Saneamento do Subsistema de Frielas);
- Eng. Pedro Barata (Direção de Operações de Saneamento da Rede de Lisboa).

*"You can't put a limit on anything. The more you dream, the further you get"*

*Michael Phelps*

## RESUMO

Nos sistemas de drenagem unitários, e na maioria dos separativos, verifica-se a afluência de caudais pluviais, frequentemente designados, neste último caso, por afluências indevidas, que acarretam custos elevados de tratamento e, por vezes, resultam num desempenho hidráulico e ambiental deficiente do próprio sistema. Nestas situações, é comum recorrer-se à regulação do caudal para um valor pré-definido, limitando as afluências ao sistema em “alta” e descarregando os caudais em excesso, frequentemente acima de 2 a 3 vezes o caudal de ponta de tempo seco, para as linhas de água.

A regulação para um caudal pré-definido, desde os vários coletores que transportam água residual doméstica até às ETAR, pode ser progressivamente melhorada, através da evolução de equipamentos mecânicos, designadamente pelas válvulas reguladoras de caudal.

O objetivo da regulação de caudal prende-se essencialmente com a forte contribuição pluvial, que circula em simultâneo com a água residual doméstica, e que, pode não necessitar de um tratamento extensivo nas ETAR, se a concentração poluente no escoamento for suficientemente reduzida, para que possa ser diretamente descarregada num curso de água próximo, antes de afluir às estações de tratamento. Mesmo em coletores considerados como separativos, devido à problemática das afluências indevidas, este processo de regulação torna-se cada vez mais uma solução recorrente.

De forma simplificada, as válvulas reguladoras de caudal são maioritariamente mecânicas e de dois tipos (as do tipo flutuador e as do tipo vórtice); sendo que começaram também a existir no mercado modelos elétricos e eletrónicos. O seu processo de funcionamento é distinto, mas têm, em todo o caso, como objetivo final obter a jusante, um caudal que seja igual ou inferior ao seu caudal de dimensionamento, o qual dependerá da altura de água a montante.

Aquando da fase de projeto existe ainda alguma incerteza sobre qual a melhor solução de equipamento a utilizar para cada caso, sendo que, para ser possível adotarem-se melhores soluções em projetos futuros, é necessário primeiramente aprofundar o conhecimento sobre o funcionamento dos modelos já instalados. Nesse sentido, abordam-se nesta dissertação dois casos de estudo, com o objetivo de avaliar o seu funcionamento, obtendo-se algumas conclusões sobre a operação de duas válvulas reguladoras de caudal, identificando problemáticas e sugerindo formas de melhoria de funcionamento que possam ser úteis com vista a construções futuras.

Também nesta dissertação se apresenta um estudo dos principais modelos de equipamentos disponíveis, por forma a serem ferramentas úteis ao projetista, quando for necessário optar por determinado tipo de válvula reguladora de caudal em projetos futuros.

**Palavras-chave:** saneamento, drenagem urbana, válvulas reguladoras de caudal, regulação de caudal, monitorização.

## ABSTRACT

In the combined drainage systems, and in the majority of the separative systems, it is verified the inflow of rain or groundwater flow, often designated by undue inflows, which entail high treatment costs and, sometimes, result in a deficient hydraulic and environmental performance by the system. In these situations, is usual to resort to the flow regulation for a preset value of flow, limiting the affluence to the “high” system and discharging the excess flow, frequently above from 2 to 3 times the peak flow in dry weather, to the watercourses.

The regulation for a pre-defined flow, from the several pipes which transport sanitary wastewater to the WWTP, has been progressively improved through the evolution of mechanical equipment, the flow control valves.

The flow regulation is required, essentially, due to the strong pluvial contribution which circulates at the same time with the domestic wastewater, that doesn't need an extensive treatment at the WWTP, being able to be directly discharged into a near watercourse, before inflows to the treatment plants. Even in collectors considered as separative, due to the undue inflows problematic, this process of flow regulation has been increasingly a recurring solution.

In a simplified way, the flow regulation valves are mostly mechanical and of two types (the float type and the vortex type), although, began to appear electric and electronical models in the market. Their operating process is distinct, but both have, as final objective, the maintenance of a downstream flow always inferior or equal to the valve design flow, and that will depend on the upstream water level.

During the design phase still exists some incertitude about which one is the best equipment solution to use in which case, albeit, to be possible to choose better solutions in future projects, is firstly necessary to deepen the knowledge about the already installed models' operation. In this sense, were approached two study cases, in this dissertation, getting some conclusions about the behaviour of two flow regulation valves, identifying problems, and suggesting ways of improvement that could be useful in future constructions.

Also in this dissertation, is presented a study about the main available models of equipment, in order to be a designer's useful tool during the need to opt for certain flow regulation valve type, in future projects.

**Keywords:** sanitation, urban drainage, flow regulation valves, flow regulation, monitoring.

# ÍNDICE GERAL

---

---

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICAÇÃO DA PREFERÊNCIA PELA TEMÁTICA ABORDADA.....	1
1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO .....	2
1.3 ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	2
<b>CAPÍTULO 2: EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM</b> .....	<b>3</b>
2.1 ASPETOS GERAIS .....	3
2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS SISTEMAS DE DRENAGEM .....	5
2.3 A MODERNIZAÇÃO DAS REDES DE DRENAGEM .....	7
2.4 CONTEXTO EUROPEU .....	9
2.4.1 <i>Considerações iniciais</i> .....	9
2.4.2 <i>Doutrina higienista</i> .....	10
2.4.3 <i>O caso português</i> .....	10
<b>CAPÍTULO 3: REGULAÇÃO E CONTROLO DE CAUDAL</b> .....	<b>13</b>
3.1 COMPONENTES DOS SISTEMAS DE DRENAGEM E REGULADORES DE CAUDAL.....	13
3.1.1 <i>Componentes dos sistemas de drenagem</i> .....	13
3.1.2 <i>Reguladores de caudal</i> .....	16
3.2 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DOS MODELOS DISPONÍVEIS.....	18
3.2.1 <i>Válvulas de flutuador</i> .....	18
3.2.1.1 Modelos <i>HydroSlide</i> .....	18
3.2.1.2 Modelos <i>ALPHEUS AT, AS e AA</i> .....	26
3.2.2 <i>Válvulas vórtice</i> .....	29
3.2.2.1 Modelos <i>Cyclone Flow Regulator</i> .....	29
3.2.2.2 Modelos <i>Vórtex WAB</i> .....	35
3.2.3 <i>Válvulas elétricas e eletrónicas</i> .....	37
3.2.3.1 Modelos <i>ElectroSlide e EasySlide</i> .....	37
3.2.3.2 Modelos <i>EGAR e EGAR-LC</i> .....	38
3.3 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DOS MODELOS DISPONÍVEIS .....	40
3.3.1 <i>Aspetos introdutórios</i> .....	40
3.3.2 <i>Válvulas de flutuador</i> .....	40
3.3.2.1 <i>Considerações iniciais</i> .....	40
3.3.2.2 Modelos <i>HydroSlide MINI, VM, VN, VS e Giehlmatic</i> .....	41
3.3.2.3 Modelos <i>HydroSlide Combi e FlatFlow</i> .....	41
3.3.2.4 Modelos <i>ALPHEUS</i> .....	41
3.3.3 <i>Válvulas vórtice</i> .....	42

3.3.3.1	Considerações iniciais .....	42
3.3.3.2	Modelos <i>Vórtex WAB CE\ V</i> .....	43
3.3.3.3	Modelos <i>Vórtex WAB CY-F</i> .....	43
3.3.3.4	Modelos <i>Cyclone regulator CYE, CYO, CYEO e CEV</i> .....	43
3.3.4	<i>Válvulas Elétricas e Eletrónicas</i> .....	44
3.3.4.1	Modelos <i>ElectroSlide</i> .....	44
<b>CAPÍTULO 4: EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E MONITORIZAÇÃO .....</b>		<b>45</b>
4.1	ASPETOS INTRODUTÓRIOS .....	45
4.2	MEDIÇÃO DE PRECIPITAÇÃO .....	47
4.2.1	<i>Equipamentos de medição</i> .....	47
4.2.2	<i>Locais de medição</i> .....	47
4.3	MEDIÇÕES DE VELOCIDADE DE ESCOAMENTO E ALTURA DE ÁGUA .....	49
4.3.1	<i>Soluções de multissensorização para medição de caudal em superfície livre</i> .....	49
4.3.2	<i>Equipamentos de medição</i> .....	49
4.3.2.1	Obtenção de dados de velocidade de escoamento .....	49
4.3.2.2	Obtenção de dados de nível lâmina líquida .....	51
4.3.3	<i>Combinações de sensores</i> .....	52
4.3.4	<i>Locais de medição</i> .....	52
4.4	TRATAMENTO DE DADOS E INCERTEZAS ASSOCIADAS .....	53
<b>CAPÍTULO 5: CASOS DE ESTUDO .....</b>		<b>55</b>
5.1	SOLUÇÕES PRECONIZADAS EM PROJETOS DE EXECUÇÃO .....	55
5.1.1	<i>Plano de controlo de caudais pluviais no sistema de Frielas</i> .....	55
5.1.1.1	Considerações iniciais .....	55
5.1.1.2	Descrição geral do sistema intervencionado .....	55
5.1.1.3	Caudais medidos .....	56
5.1.1.4	Modelo de simulação e resultados obtidos .....	56
5.1.1.5	Soluções de intervenção .....	57
5.1.1.6	Equipamentos instalados .....	58
5.1.2	<i>Controlo de caudais pluviais no sistema de Alcântara</i> .....	58
5.1.2.1	Considerações iniciais .....	58
5.1.2.2	Elementos-base .....	59
5.1.2.3	Critérios gerais de conceção e de dimensionamento .....	60
5.1.2.4	Descrição geral do emissário .....	60
5.1.2.5	Dimensionamento das câmaras de controlo de caudal .....	60
5.2	DESEMPENHO DO EQUIPAMENTO DE CONTROLO DE CAUDAL .....	61
5.2.1	<i>Bacia de Alforneiros, sistema de Frielas</i> .....	61
5.2.1.1	Obtenção dos dados de medição .....	61
5.2.1.2	Análise dos dados de medição .....	62

5.2.1.3	Comportamento da válvula reguladora de caudal.....	65
5.2.1.4	Problemas de funcionamento e possível otimização.....	68
<b>5.2.2</b>	<b><i>Bacia de Caselas, sistema de Alcântara</i></b> .....	<b>70</b>
5.2.2.1	Obtenção dos dados de medição.....	70
5.2.2.2	Análise de dados de medição.....	71
5.2.2.3	Comportamento da válvula reguladora de caudal.....	73
5.2.2.4	Problemas de funcionamento e de otimização .....	76
<b>5.3</b>	<b>PROBLEMAS DE CONCEÇÃO E DE MANUTENÇÃO E SUA POSSÍVEL RESOLUÇÃO</b> .....	<b>76</b>
<b>CAPÍTULO 6: PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS</b> .....		<b>79</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....		<b>81</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>84</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Vista interior da “Cloaca Máxima”</i> .....	7
<i>Figura 2 - Caricatura alusiva ao Great Stink (1858)</i> .....	8
<i>Figura 3 - Evolução do nível de cobertura do serviço de saneamento (adaptado PENSAAR 2020)</i> .....	12
<i>Figura 4 - Curva característica de modelos vórtice</i> .....	17
<i>Figura 5 - Curva característica de modelos flutuador</i> .....	18
<i>Figura 6 - Regulador HydroSlide MINI</i> .....	19
<i>Figura 7 - Curva característica modelo MINI</i> .....	19
<i>Figura 8 - Modelo HydroSlide MiniSlide</i> .....	20
<i>Figura 9 – Regulador HydroSlide VM, VN e VS</i> .....	21
<i>Figura 10 – Curvas características dos modelos VM – VN – VS</i> .....	22
<i>Figura 11 –Regulador HydroSlide Giehlmatic</i> .....	22
<i>Figura 12 – Curva característica do modelo Giehlmatic</i> .....	23
<i>Figura 13 – Modelos HydroSlide FlatFlow e Combi</i> .....	24
<i>Figura 14 – Curvas características dos modelos FlatFlow e Combi</i> .....	25
<i>Figura 15 – Modelo HydroLimiter Float-controlled Penstock</i> .....	26
<i>Figura 16 – Modelo ALPHEUS AT</i> .....	26
<i>Figura 17 – Esquema dos constituintes do ALPHEUS AT (Adaptado de Biogest)</i> .....	27
<i>Figura 18 - Curvas características do modelo ALPHEUS AT com/sem “first flush”</i> .....	28
<i>Figura 19 - Controladores vórtice CYE, CYO e CYEO</i> .....	30
<i>Figura 20 - Controladores vórtice CYDK, CYDV e CYDX</i> .....	31
<i>Figura 21 - Controlador vórtice CEV</i> .....	32
<i>Figura 22 - Controlador vórtice CEH</i> .....	33
<i>Figura 23 – Controlador DB</i> .....	34
<i>Figura 24 – Regulador vórtice UCY</i> .....	35
<i>Figura 25 – Regulador vórtice CE/V</i> .....	36
<i>Figura 26 - Regulador vórtice CY-F</i> .....	36
<i>Figura 27 – Modelo ElectroSlide</i> .....	37
<i>Figura 28 – Controlador elétrico EGAR</i> .....	38
<i>Figura 29 - Controlador elétrico EGAR-LC</i> .....	39
<i>Figura 30 - Dimensões típicas da câmara de instalação de um regulador vórtice (Adaptado de Matias et al.)</i> ...	43
<i>Figura 31 – Fases de funcionamento de modelos Cyclone CY e CEV (Mosbaek, 2017):</i> .....	44
<i>Figura 32 – Componentes de caudal num coletor separativo com contribuição pluvial (Adaptado Brito, 2012)</i> .	46
<i>Figura 33 - Localização dos udómetros instalados pela SIMTEJO (adaptado de SIMTEJO)</i> .....	48
<i>Figura 34 - Localização dos udómetros U5 e U7 (Adaptado SIMTEJO)</i> .....	49
<i>Figura 35 - Componentes das velocidades das partículas na direção do emissor (Adaptado LNEC, 2006)</i> .....	50
<i>Figura 36 - Componentes de velocidade das partículas na direção do emissor (Adaptado LNEC, 2006)</i> .....	51

<i>Figura 37 - Instalação de sensores ultrassônicos superior e inferior (Adaptado LNEC, 2006).....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 38 - Medição de pressão hidrostática para determinação de nível (Adaptado LNEC, 2006) .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 39 - Geometria da seção molhada .....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 40 - Coletor doméstico no interior da galeria pluvial .....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 41 - Hidrograma padrão referente ao período de julho de 2012 a junho de 2013.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 42 - Dados de caudal registado a jusante da válvula devidamente tratados (junho de 2016) .....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 43 - Dados de caudal registados a jusante da válvula devidamente tratados (novembro de 2016).....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 44 - Esquema da obra de Alforneiros.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 45 - Curva característica da válvula instalada (fornecida pelo fabricante).....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 46 - Ajustabilidade da fórmula de Manning aos dados de medição .....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 47 - Perfis de velocidades para relações entre nível de água e diâmetro de coletor (McBirney, 2005) .....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 48 - Dados de caudal registados a jusante da válvula devidamente tratados (junho de 2016).....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 49 - Dados de caudal registados a jusante da válvula devidamente tratados (maio de 2016).....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 50 - Esquema da obra de Caselas.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 51 - Curva característica da válvula de Caselas (fornecida pelo fabricante).....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 52 - Ajustabilidade da equação de Manning aos dados de medição .....</i>	<i>75</i>

# **ÍNDICE DE TABELAS**

<i>Tabela 1 - Gama de aplicação do modelo MINI .....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 2 - Gama de aplicação do modelo VM.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 4 - Gama de aplicação do modelo VN .....</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 4 - Gama de aplicação do modelo VS .....</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 5 – Gama de aplicação do modelo Giehlmatic .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 6 – Características catalogadas dos modelos HydroSlide FlatFlow e Combi .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 7 - Gama de aplicação do modelo Penstock.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 8 – Variantes do modelo ALPEHUS AT.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 9 - Dimensões mínimas da câmara de instalação dos modelos MINI, VM, VN, VS e Giehlmatic .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 10 - Dimensões mínimas da câmara de instalação do modelo ALPHEUS AT.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 11 - Dimensões mínimas da câmara de instalação do modelo ElectroSlide .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 12 - Características da bacia BRC.6 .....</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 13 - Caudais no interceptor de Alforneiros antes da intervenção .....</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 14 - Condicionantes do cenário de intervenção 1.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 15 - Condicionantes do cenário de intervenção 2.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 16 - Condicionantes do cenário de intervenção 3.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 17 - Propriedades da válvula controladora de caudal instalada .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 18 - Caudais de dimensionamento das válvulas vórtice a instalar .....</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 19 - Valores de interesse de caudal e de velocidade referentes a junho de 2016.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 20 - Valores de interesse de caudal e de velocidade referentes a novembro de 2016 .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 21 - Valores máximos de caudal registados antes da obra e após a obra.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 22 - Registos superiores ao caudal de dimensionamento da válvula .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 23 - Valores de interesse de caudal e de velocidade referentes a Junho de 2016 .....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 24 - Valores de interesse de caudal e de velocidade referentes a Maio de 2016 .....</i>	<i>73</i>

## **SIMBOLOGIA**

$u$  – velocidade longitudinal da partícula  
 $c$  – velocidade de propagação do som  
 $f_s$  – frequência da onda incidente  
 $\Delta f$  – desvio de frequência de ondas  
 $x$  – distância à fronteira líquido/ar  
 $\Delta t$  – tempo de trânsito da onda  
 $h$  – altura de lâmina líquida  
 $p$  – pressão relativa  
 $\rho$  - massa volúmica do líquido  
 $g$  – aceleração gravítica  
 $d$  – altura de água no coletor  
 $D$  – diâmetro do coletor  
 $Q$  – caudal escoado  
 $S$  – área de secção molhada  
 $v_{média}$  – velocidade média de escoamento  
 $n$  – fator de rugosidade de Manning  
 $R_h$  – raio hidráulico  
 $A$  – área de secção transversal

## **SIGLAS E ACRÓNIMOS**

DR – Decreto Regulamentar

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

INAG – Instituto Nacional da Água

IRAR – Instituto Regulador de Águas Residuais

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

PENSAAR 2020 – Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais  
2020

SANEST – Saneamento da Costa do Estoril, S.A.

SIMTEJO – Saneamento Integrado dos Municípios do Tejo e Trancão, S.A

# **CAPÍTULO 1:**

## **INTRODUÇÃO**

---

### **1.1 Justificação da preferência pela temática abordada**

A par da progressiva evolução populacional e das necessidades inerentes ao estilo de vida urbano cada vez mais intensificado pelas atividades de abastecimento e de saneamento de água a todas as habitações e locais públicos, a tecnologia tem-se adaptado a um processo de controlo dos caudais afluentes às redes de drenagem de águas residuais.

Partindo-se do pressuposto de que a maioria das redes de drenagem urbana é de conceção unitária, ou de que, sendo teoricamente separativas, na realidade transportam uma forte contribuição pluvial, um problema atual prende-se com a excessiva afluência de caudal pluvial às estações de tratamento de águas residuais (ETAR), que, para além de agravar os custos associados ao processo de tratamento, podem até comprometer a eficácia das ETAR, dado o elevado caudal afluente e a reduzida carga poluente que origina uma concentração inferior à desejada para um correto funcionamento. Como solução para tal problemática opta-se por desviar diretamente para um curso de água próximo parte da contribuição total de caudal, antes de afluir às ETAR, recorrendo a descarregadores de funcionamento simples.

Porém, tal desvio de caudal pode conter uma carga excessiva de poluentes, prejudicando o ambiente de forma contínua ao longo do tempo, sendo que a definição das cargas poluentes passíveis de serem diretamente descarregadas no meio ambiente são objetivamente clarificadas em decretos-lei, em particular no DR nº390/99, de 30 de Setembro, e no DR nº56/99, de 28 de Fevereiro. Também se destaca a importância da regulação das descargas de águas residuais por parte do Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), criado no âmbito dos decretos regulamentares DR nº362/98, de 18 de Novembro, e DR nº230/97, de 30 de Agosto.

O ideal seria a obtenção de um caudal afluente às ETAR com a maior concentração poluente verificada, desviando-se a montante toda a contribuição pluvial sem necessidade de tratamento, evitando-se os problemas relacionados especialmente com o arrastamento da biomassa e maximizando assim a sua eficiência de tratamento.

A evolução tecnológica fez com que se desenvolvessem novos equipamentos, que vieram melhorar os tradicionais descarregadores e que se foram adaptando a novas situações, permitindo obter um caudal de descarga superior ao de até então - as válvulas reguladoras de caudal.

Estes equipamentos são maioritariamente mecânicos, mas também existem modelos elétricos que, em ambos os casos, podem permitir uma desobstrução automática das suas secções de escoamento, evitando que a deposição de sólidos de maior porte se oponha ao escoamento eficaz de caudal para jusante dos equipamentos, permitindo uma regulação de caudal conforme projeto de dimensionamento.

Diversas empresas se têm afirmado como fabricantes de modelos que, na sua génese, são principalmente limitadores de caudal, não se comportando exatamente como um regulador, o que pressuporia uma aplicabilidade em tempo real a várias condicionantes. Predominam dois grandes tipos de válvulas reguladoras de caudal: as do tipo flutuador e as do tipo vórtice.

## **1.2 Objetivos da dissertação**

O estudo em causa visou a avaliação da eficácia das soluções preconizadas em duas obras realizadas no distrito de Lisboa, de forma a definir argumentos válidos e fundamentados que permitam decidir sobre qual o melhor tipo de válvula a aplicar a cada caso de intervenção.

O que se tem verificado é que, devido à falta de informação e relativa falta de experiência sobre as válvulas reguladoras de caudal, a opção dos projetistas tem sido muitas vezes optar por uma solução já utilizada em projetos anteriores que se assemelhem ao projeto em desenvolvimento, o que tem estagnado a utilização de novos modelos que poderão ser significativamente mais vantajosos.

A avaliação da eficácia de dois equipamentos diferentes em duas obras distintas realizadas pela mesma empresa de construção e com condicionantes também bastante diferentes é possibilitada devido à informação de sistemas de monitorização de caudal a jusante das válvulas reguladoras, que são utilizados como meio de faturação aos concelhos, e de conjuntos de udómetros que permitem a obtenção de dados de precipitação referentes às bacias em estudo; contudo, não se dispõe de sistemas de monitorização e obtenção de dados de caudal e altura de escoamento a montante dos reguladores.

Pretende-se obter primeiramente uma clarificação das principais ofertas de mercado, alargando horizontes aquando da fase de projeto, de forma a expor os seus processos de funcionamento e critérios base de dimensionamento e a adequar cada solução aos condicionamentos de cada projeto, permitindo otimizar os equipamentos reguladores de caudal, em simultâneo com a garantia de que o caudal afluente às ETAR seja tal que potencie o seu ótimo funcionamento, garantindo que a descarga de caudal excedente diretamente para um curso de água afete o mínimo possível o ambiente.

## **1.3 Estruturação da dissertação**

O presente documento encontra-se dividido em 6 capítulos, que se sucedem de forma lógica, consistindo este primeiro capítulo numa pequena introdução dos objetivos a serem alcançados com o estudo realizado, enquanto o segundo capítulo contém uma explicação da evolução dos sistemas de drenagem urbanos desde as primeiras civilizações até ao presente, destacando a realidade nacional.

O terceiro capítulo tem um cariz mais prático e apresenta um estudo extensivo das principais soluções de reguladores de caudal presentes em mercado, bem como os seus princípios de funcionamento e critérios básicos de dimensionamento, de forma a tornar-se numa ferramenta útil na fase de projeto de futuras construções.

O quarto capítulo explora as metodologias de medição e de tratamento de dados necessárias à avaliação dos equipamentos utilizados nas duas obras em estudo.

O quinto e penúltimo capítulo apresenta os projetos preconizados para os dois casos de estudo e faz uma avaliação da eficácia das válvulas instaladas, pretendendo-se que, no último capítulo, se obtenham conclusões generalizadas apoiadas num conhecimento mais vasto das soluções disponíveis, para que se utilizem equipamentos mais eficientes nas futuras construções.

O documento integra ainda quatro grupos de anexos: o anexo A, onde constam as formas de conceção das câmaras de instalação de alguns dos modelos de válvulas abordadas no documento; o anexo B, que consiste num quadro resumo de todos os modelos abordados; o anexo C, onde se apresentam dados referentes aos dois casos de estudo; e o anexo D, que contém uma reportagem fotográfica referente às visitas feitas aos locais em causa.

# EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE DRENAGEM

---

## 2.1 Aspetos gerais

Um sistema de drenagem de água residual é uma infraestrutura que, entre outros componentes, é constituído por uma rede de coletores que conduzem as águas residuais, quer domésticas, industriais ou comerciais, para uma instalação de tratamento de água, com o intuito de adequar a água à normativa de descargas em vigor.

Cabe aos sistemas de drenagem a condução das águas residuais desde as habitações particulares até às ETAR, onde, através de processos físicos, químicos e biológicos, essas águas residuais são dotadas de características suficientemente melhores, para que se possa devolver a água ao meio hídrico sem impactes ambientais ou na saúde pública e respeitando as normativas elaboradas por cada país (Bonito, 2014).

Os processos de crescimento da população e respetivo incremento da densidade populacional originaram o surgimento de tais tipos de sistemas, com a função de realizar um serviço público constante e com um nível de fiabilidade desejado para fazer face à propagação de epidemias e para acompanhar a doutrina higienista. Sendo assim, a atividade de saneamento tem associado um grande investimento técnico e financeiro e deve procurar sempre soluções inovadoras, de forma a otimizar todos os processos. Para além do mais, é perceptível que, devido a tal investimento e aos custos de manutenção e de exploração associados, o período de retorno do investimento será também elevado. No entanto, acima de qualquer pressuposto, é importante ter bem presente que, tanto a atividade de abastecimento como a de saneamento de água, são serviços públicos de necessidade primária da população.

As redes de drenagem de águas residuais são classificadas de acordo com a natureza da água residual transportada, identificando-se os seguintes tipos de sistema:

- Drenagem de água pluvial;
- Drenagem de água residual doméstica ou industrial;
- Drenagem de água residual mista.

Aprovado em Diário da República e de acordo com o ponto primeiro do artigo 116º do DR 23/95, de Agosto de 1995, os sistemas de drenagem de águas residuais podem ser:

- **Separativos:** “constituídos por duas redes de coletores distintas, uma destinada às águas residuais domésticas e industriais e outra à drenagem das águas pluviais ou similares”;
- **Unitários:** “constituídos por uma única rede de coletores onde são admitidas conjuntamente as águas residuais domésticas, industriais e pluviais”;
- **Mistos:** “constituídos pela conjugação dos dois tipos anteriores, em que parte da rede de coletores funciona como sistema unitário e a restante como sistema separativo”;
- **Separativos parciais** ou **pseudo-separativos:** “em que se admite, em condições excecionais, a ligação de águas pluviais de pátios interiores ao coletor de águas residuais domésticas”.

Analisando cada um dos tipos de redes de drenagem de água residual quanto às suas condições de escoamento em conduta, constata-se que:

- ✓ O sistema separativo pode dar-se tanto em superfície livre como sob pressão, sendo que o mais usual é realizar-se em superfície livre. O escoamento sob pressão (recorrendo a bombagem) só se adota em casos em que seja inviável o transporte por ação gravítica. Também existe a possibilidade de o sistema separativo se dar em condições de vácuo, apesar de ser bastante raro, realizando-se o transporte da água através de condições de subpressão criadas ao longo das condutas (Bonito, 2014).
- ✓ O sistema unitário é totalmente em superfície livre, transportando as águas residual e pluvial conjuntamente através da mesma conduta (Bonito, 2014).
- ✓ O sistema pseudo-separativo também se processa em superfície livre, admitindo-se ligações de água pluvial que não apresentem condições de afluência a coletores pluviais, aos coletores domésticos (Bonito, 2014).

Um sistema convencional do tipo separativo doméstico apresenta a vantagem de transportar, de forma separada, caudais de origem distinta e assim permitir diferentes condições de tratamento e destino final a cada um dos caudais; porém, estão-lhe associados custos iniciais mais elevados, particularmente devido à necessidade de implementar dois coletores distintos, que, apesar de terem menor seção transversal que um coletor unitário, apresentam maiores custos de implementação (Bonito, 2014). Também surge a necessidade de existir um maior controlo, tanto em fase de construção como através de manutenção regular das ligações a ramais prediais e dos afluentes a cada coletor.

Por sua vez, um sistema convencional unitário apresenta maior economia de construção e maior simplicidade de projeto, pois as ligações entre ramais e coletores não têm de ser tão cuidadosamente controladas; no entanto, têm-lhes associada a desvantagem de efetuar uma descarga direta no ambiente envolvente dos excedentes poluentes que são transportados pelo coletor em tempo de chuva, sem qualquer tratamento. A isso acresce, em alguns casos, a necessidade da instalação de estações elevatórias, devido ao grande caudal que circula no coletor, bem como o agravamento de custos, associados ao tratamento da totalidade da água, não só da residual doméstica (Bonito, 2014).

Atualmente, em Portugal, predomina o tipo separativo, se bem que, no passado, predominava o tipo unitário, que progressivamente foi sendo substituído por redes de drenagem do tipo separativo. Porém, em contexto real, é utópico falar-se de uma rede de drenagem puramente separativa, pois é parcialmente impossível assegurar que não existirão afluições indevidas devido a qualquer tipo de falha não considerada ou associada a qualquer situação não conhecida. Portanto, o mais correto será sempre tratar-se tais redes como se fossem pseudo-separativas (Bonito, 2014).

As afluições indevidas, quer na forma de ligações clandestinas de águas residuais domésticas ou pluviais, quer por infiltração de águas subterrâneas, modificam bastante as características da água residual transportada, particularmente após eventos pluviosos curtos de grande intensidade. Tais afluições condicionam toda a operação, podendo levar à entrada em carga de toda a rede, com a consequente danificação de infraestruturas e à diminuição da eficácia de tratamento das ETAR, devido ao excessivo caudal transportado. Em última circunstância, a entrada em carga da rede pode levar a descargas de emergência pelos sistemas de *bypass*, que afetam o meio ambiente envolvente, devido à presença da componente residual doméstica sem tratamento.

## **2.2 Evolução histórica dos sistemas de drenagem**

### **A revolução urbana**

A história do homem é a história da sua evolução. Partindo do estado inicial de caçador e de predador, dependendo do meio em que se inseria, foi capaz, graças à evolução da sua inteligência, de compreender esse meio e de adaptar-se a ele. Surgiu então a fase neolítica da evolução humana, em que as aldeias se instalavam junto a um curso de água, de forma a facilitar a realização das atividades quotidianas que necessitavam de água (Sota la Ciutat, 1991).

A revolução urbana deu-se quando se conseguiu tornar independente a localização da cidade da necessidade de armazenamento de água, passando as populações a estabelecerem-se nos locais onde melhor se poderiam desenvolver, tanto a nível económico como organizativo. Para essa nova etapa o homem teve necessidade de, ao aproveitar o desnível topográfico para regar amplas planícies aluviais, realizar captações de água e distribuí-la mediante redes de canais (Sota la Ciutat, 1991).

Assim, cedo começaram a surgir nas cidades os primeiros problemas hidráulicos específicos e também a necessidade de evacuação das águas produzidas na própria cidade, sendo que, ao início, se verificava que as próprias ruas serviam de vias de evacuação, inundando a cidade e dificultando o seu normal funcionamento (Sota la Ciutat, 1991).

### **Os primeiros vestígios**

Entre os primeiros vestígios de redes de canais encontradas surgem as do palácio de *Korsabad*, na antiga Babilónia. Por baixo das divisões deste palácio encontravam-se amplas galerias e, no centro dos pátios, existiam orifícios circulares de captação de água, os quais comunicavam verticalmente com as galerias (Sota la Ciutat, 1991).

Outros vestígios importantes, posteriores aos da Babilónia, foram encontrados na ilha de Creta, no palácio de *Minos*. Aí se pode ver uma rede de abastecimento e de drenagem que remonta ao terceiro milénio antes de Cristo, constatando-se ser uma rede bastante completa, a qual compreendia a evacuação das águas pluviais e também das águas residuais domésticas (Sota la Ciutat, 1991).

Em Atenas existia uma rede de canais, datada ao séc. IV a.C., que recolhia as águas produzidas nas encostas das colinas. O troço principal da rede era de secção retangular, com dimensões de  $1 \times 1 \text{ m}^2$ , e utilizava peças de terracota cobertas por um tipo de laje que permitia a circulação de pessoas por cima dela (Sota la Ciutat, 1991). Em Delos existiam mesmo algumas casas particulares de membros da alta sociedade, as quais tinham latrinas e quartos de banho independentes, que despejavam na rede principal de drenagem, que se desenvolvia ao longo das ruas. As águas obtidas no final do sistema de drenagem eram utilizadas para rega, conduzindo-se a água através de um canal com descarregador que, para além do mais, permitia desviar o excesso de água em alturas de eventos pluviais mais intensos (Sota la Ciutat, 1991).

### **O povo etrusco e Roma**

O povo etrusco foi semi-nómada até ao séc. VII a.C., altura em que se estabeleceu nas zonas compreendidas entre os rios *Arno* e *Tíber*. Este povo, com a finalidade de dominar o seu meio, desenvolveu uma série de técnicas hidráulicas, entre elas o denominado "*Cuniculi*" (Sota la Ciutat, 1991).

Os “*cuniculi*” (tocas de coelhos) eram grandes galerias escavadas, a uma certa profundidade, sobre um estrato impermeável, que permitiam drenar um terreno pouco consistente e facilmente saturável, tornando-o apto para a agricultura e para o pasto, ao mesmo tempo que se evitava a sua erosão em épocas de grandes chuvadas. Depois da escavação de um primeiro poço, a galeria desenvolvia-se sem incrementar em excesso a pendente para não provocar a erosão do leito do rio. A cada certa distância era construído outro poço, que servia para a ventilação dos “*cuniculi*” e também para ser possível aceder ao seu interior, em caso de necessidade de algum tipo de manutenção (Sota la Ciutat, 1991).

Esta técnica de construção foi herdada pelos romanos, motivo pelo qual, em Roma, se procurou aproveitar a rede hidrográfica artificial para fins de drenagem urbana e generalizá-la a toda a cidade, através da construção das “*cloacas*” e novos “*cuniculi*”, que permitiam tanto a organização da ocupação do solo como a extensão das zonas urbanizáveis pela drenagem das zonas inundáveis.

A cultura romana desenvolveu a sua relação com a água até extremos bastante desenvolvidos, criando uma técnica que, no seu geral, atualmente se utiliza nas cidades. Desde a captação na cabeceira de um rio, os canais de condução levavam água até grandes depósitos, enterrados ou semi-enterrados, que os romanos denominavam de “*castellum aquae*”, cobertos com construções grandiosas de carácter cultural e social. O transporte da água dava-se recorrendo a um traçado de pendente muito suave, de forma a minimizar as perdas de carga hidráulica, recorrendo muitas vezes à implementação de aquedutos, de forma a transpor grandes vales. Desde os depósitos, uma rede de canalizações distribuía a água pelas ruas e fazia-a chegar até às casas (Sota la Ciutat, 1991).

O grande volume de águas acumulado no solo, devido às suas características pantanosas, levou os romanos a ocupar-se do problema de retirá-las do recinto urbano, problema esse que foi solucionado ao se aproveitarem as galerias subterrâneas. Os romanos desenvolveram assim aquele que ficou conhecido como o “ciclo contínuo da água”, princípio que originou o higienismo, anos mais tarde.

### **A “Cloaca Máxima”**

A história da criação urbana de Roma praticamente coincide com a história da “*Cloaca Máxima*”. Ao início existia uma ribeira que dividia as colinas de *Septimontium*, onde se tinham fixado as primeiras pessoas. Através da secagem dos terrenos de *Aventino*, *Viminal*, *Palatino* e *Quirinal*, veio a erguer-se, nesse espaço, o *forum romano* e as águas dessas bacias conformaram o leito da *Cloaca* (Botica, 2012).

As primeiras obras foram iniciadas em 200 a.C. e as dimensões da “*Cloaca Máxima*” não chegaram a conhecer-se com exatidão, pensando-se que até à zona do *forum* deveria ter cerca de 2,10 m de largura e logo após passaria aos 5,0 m de largura. Inicialmente só era recolhida a água da chuva através de umas aberturas em grelha de pedra na calçada, que comunicavam com a *Cloaca*; posteriormente foi autorizada também a recolha de águas negras domésticas (Sota la Ciutat, 1991).

Em Roma fixava-se assim uma filosofia e o uso de elementos de redes de saneamento, os quais, no essencial, são os utilizados atualmente. Tal filosofia consistia em, por um lado, estender a rede à zona principal da cidade, tornando-se um fator de geração de solo urbano e, por outro, no carácter unitário da mesma, sendo útil para a evacuação de águas domésticas e pluviais.

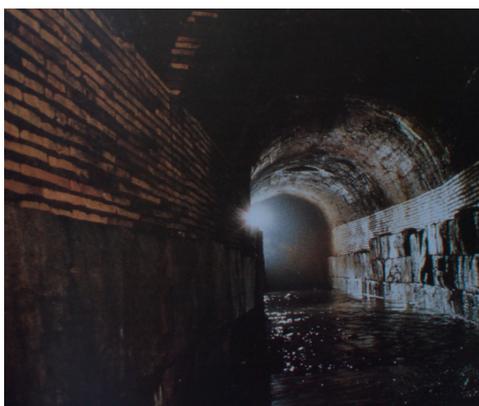


Figura 1 - Vista interior da “Cloaca Máxima”

## 2.3 A modernização das redes de drenagem

A queda do Império Romano marca o início de uma nova era, a qual demoraria quase um milénio a consolidar-se. Durante esse período, houve um esquecimento quase total das técnicas e dos procedimentos construtivos romanos, as cidades entraram numa profunda decadência e a população deslocou-se para zonas rurais. Apenas com o reconhecimento dos problemas de salubridade vividos nas grandes cidades é que foi tentado regressar-se ao pensamento dos romanos e centrar esforços no desenvolvimento dos sistemas de drenagem.

Já no séc. XVIII uma boa parte da engenharia urbanística estava orientada para resolver o problema da insalubridade vivida nas grandes cidades, decorrente da revolução industrial; e o desenvolvimento da arqueologia fez com que fosse possível observarem-se as grandiosas obras hidráulicas romanas, desde os aquedutos às redes de saneamento, redescobrimo a sua particular organização, o conceito urbanístico e o intitulado “ciclo contínuo da água” (Sota la Ciutat, 1991).

### O caso de Londres e Chadwick

Em 1840, o engenheiro higienista *Edwin Chadwick* propôs o uso do “ciclo contínuo da água”, o que supôs a utilização tanto da rede de abastecimento como de saneamento da água. Esse sistema seria composto por tubagens que transportariam a água de abastecimento até às habitações e também as águas residuais domésticas para o mais longe possível da cidade (Sota la Ciutat, 1991).

Para apoiar a necessidade de instalação deste sistema face às existentes fossas sépticas, *Chadwick* defendeu que tal opção eliminaria os odores e as doenças contagiosas que afetavam grande parte da população. Além disso, propôs ainda a utilização das águas residuais para a rega de zonas agrícolas, o que traria um benefício económico ao investimento necessário.

A proposta de *Chadwick* foi muito discutida e teve uma grande influência, que levou a que, no ano de 1848, se aprovasse uma lei que abolia o uso de fossas sépticas e privilegiava a ligação dos sistemas domésticos à rede de drenagem (Sota la Ciutat, 1991).

Um dos grandes exemplos de insalubridade vivida em Londres ocorreu no ano de 1858, tendo sido tal fenómeno denominado de “*Great Stink*.” Devido ao abuso, durante séculos, da utilização do rio Tamisa como lugar de despejo de resíduos domésticos e industriais, no verão quente de 1858 o “esgoto flutuante” em que se transformara o Tamisa começou a fermentar, originando um cheiro que afetou toda a cidade. A solução encontrada passou pela reconstrução do sistema de esgotos de Londres,

aprovado em projeto e atribuído ao engenheiro-chefe do conselho de obras públicas, *Joseph Bazalgette*, que se apoiou no trabalho desenvolvido por *Chadwick* desde 1840 e que tinha sido até então menosprezado, por falta de consciência da problemática vivida (AmusingPlanet, 2017).

Com este acontecimento surgiu a compreensão e o medo sobre possíveis doenças como a febre tifóide e a cólera, maioritariamente causadas pelo consumo de água contaminada, conforme tinha sido defendido por um dos pais da epidemiologia – *John Snow* – quatro anos antes (AmusingPlanet, 2017).

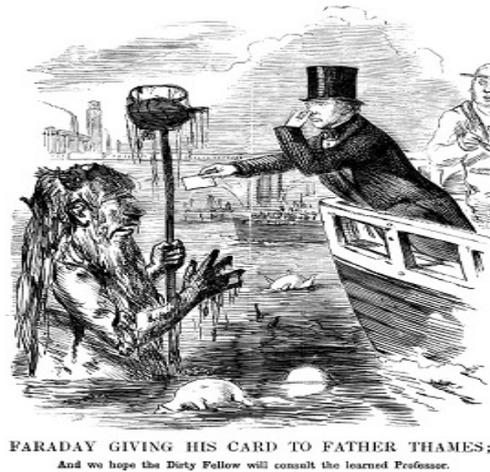


Figura 2 - Caricatura alusiva ao Great Stink (1858)

A característica mais notável da vasta obra de engenharia, concluída em 1859 (somente passado um ano desde o “*Great Stink*”) pelos engenheiros *Bazalgette* e *Binnie*, foi que toda a rede era possível de ser visitada, alcançando-se alturas de coletores de 3 m, que levavam a água residual doméstica e a água pluvial para fora das cidades, até um depósito em que essa água era armazenada durante a maré alta e posteriormente descarregada durante a maré baixa (Sota la Ciutat, 1991).

### O caso de Paris e Belgrand

Apesar dos êxitos na redução da mortalidade em Londres, no resto da Europa existiam notórias dificuldades na aceitação do sistema higienista. Inúmeros preconceitos se opunham à sua implementação e, por outro lado, a natureza das obras necessárias fazia com que fossem dificilmente rentáveis, quando se vivia num estado capitalista puro. Um caso protótipo surgiu na cidade de Paris, em que se procedia a uma reforma após a existência de uma cidade medieval. O engenheiro *Belgrand* desejava apressar as obras de captação de água e da sua distribuição, alargando a rede existente no ano de 1850 de 136 km para 1040 km (Sota la Ciutat, 1991).

Grande admirador da antiguidade clássica, *Belgrand* realizou diversos estudos sobre os aquedutos romanos, impulsionando os ramos da hidrogeologia e da meteorologia. O seu desenho do sistema de drenagem para a cidade de Paris seguiu um modelo romano que preconizava atingir dimensões superiores às da “*Cloaca Máxima*” de Roma, com funções não só de evacuação das águas negras e pluviais, mas também de canalização dos serviços de abastecimento de água e de gás.

Porém, todos estes aspetos foram rapidamente abandonados, devido a uma forte polémica de aceitação. Realizaram-se diversas discussões para encontrar sistemas alternativos, passando-se, entretanto, quase 20 anos e a ocorrência de mais algumas epidemias antes que se alcançasse uma solução adequada à resolução dos problemas de salubridade da cidade.

Pouco a pouco foram ingressando os resíduos domésticos no sistema de drenagem e, em 1883, a câmara de Paris obrigou a conectarem-se diretamente à rede de saneamento todas as casas da cidade, eliminando-se as fossas sépticas. Voltou-se a olhar para o plano desenvolvido por *Belgrand* e adotaram-se algumas das medidas por ele defendidas, entre as quais a implementação de umas comportas nas saídas dos coletores, para se evitar o refluxo das águas no sistema de drenagem em tempo de cheias (Sota la Ciutat, 1991). Nascia assim uma filosofia de saneamento por cima de polémicas, começando a impor-se a doutrina higienista também em Paris.

## 2.4 Contexto europeu

### 2.4.1 Considerações iniciais

No séc. XIX, nas cidades mais desenvolvidas da Europa, verificou-se uma significativa evolução nos sistemas de distribuição de água até cada fogo ou edifício, o que não existia ainda no tempo do Império Romano. Paralelamente, começaram a ser instalados ramais de ligação e coletores prediais e, já no final do século, os coletores passaram a ter secção circular e eram fabricados em betão, privilegiando a autolimpeza e sem existirem juntas transversais (Sota la Ciutat, 1991).

A consciência por parte dos engenheiros sobre a importância do controlo do declive longitudinal dos coletores promoveu a autolimpeza dos mesmos, reduzindo os encargos com a manutenção das redes de drenagem e minimizando os problemas daí advindos (J.S. Matos *et al*, 2008).

Os critérios de velocidades mínimas, que ainda hoje vigoram, foram estabelecidos na década de 1840 em Londres, com base em ensaios de sedimentação de materiais correntes e que pretendiam evitar a deposição de partículas e garantir o arrastamento para jusante dos materiais que poderiam depositar-se na base do coletor. Os valores estabelecidos foram fixados então em 0,6 a 0,9 m/s.

A primeira cidade europeia a ser dotada com um plano nacional de drenagem de águas residuais foi Hamburgo, em 1842, cidade essa que se encontrava destruída e que assim se viu munida de novos coletores de tipo unitário (Matos, 2003).

É também na segunda metade do séc. XIX que se debatem os prós e os contras da implementação de sistemas separativos face aos sistemas unitários. Atualmente, nas principais cidades europeias, é perceptível que o sistema unitário prevalece face ao separativo, fundamentalmente devido:

- ✓ À falta de experiência, à data, sobre os sistemas separativos;
- ✓ À ideia de que o sistema unitário seria globalmente mais económico;
- ✓ À atitude cética quanto à utilização de águas residuais puramente domésticas na agricultura.

No ano de 1880, um engenheiro americano, *Rudolph Hering*, em visita à Europa para a avaliação das práticas de saneamento, propôs um modelo para a escolha do tipo de sistema de drenagem que se deveria implementar. *Hering* propôs então que, em cidades muito urbanizadas, de grande dimensão e em crescimento, se deveria optar pelo sistema unitário; enquanto que, para aglomerados de menor dimensão e sem necessidade de canalizar as águas pluviais, se deveria optar pelo sistema separativo. Complementarmente ao relatório apresentado por *Hering*, foi referido que nenhum tipo de sistema poderia ser considerado melhor do que outro, sendo fundamentalmente as condições locais e económicas a ditar a escolha do melhor tipo de sistema de drenagem urbano (Matos, 2003).

Atualmente, é sabido que, na Europa, cerca de 70% da população é servida por sistemas unitários de drenagem, valor esse que notoriamente contrasta com, por exemplo, o dos E.U.A., em que apenas 15% da população é servida por sistemas unitários, o que demonstra a grande influência das políticas ali adotadas e a enorme subjetividade do processo de escolha do melhor tipo de rede de drenagem (J.S. Matos *et al*, 2008).

#### **2.4.2 Doutrina higienista**

A drenagem de águas residuais em território nacional foi sempre menosprezada, até ser considerada uma das principais razões que explicaram a morte de cerca de metade da população portuguesa devido à peste negra (1348), originada pela falta de condições sanitárias, doença essa que se fez sentir grandemente, por mais vezes, até ao final do séc. XVII. Após a identificação do grave problema sanitário, e a mando de D. João II, foram realizadas operações de manutenção e de limpeza dos coletores que se destinavam à drenagem da água pluvial da cidade de Lisboa (Matos, 2003).

Entre os séculos XVIII e XIX verificou-se um aumento significativo dos cuidados com o ordenamento do território e com o planeamento urbano, devido ao forte incremento populacional, acompanhado de um também forte incremento da construção na cidade de Lisboa, em particular, e em todo o território nacional em geral. Surge então, com base na doutrina higienista apresentada na primeira metade do séc. XIX, a ideia de manter determinadas condições de salubridade urbana, através da instalação de sistemas de adução e de tratamento de águas, com a finalidade de controlar e de reduzir as epidemias (Matos, 2003).

Um dos principais responsáveis pela implementação do higienismo foi Frederico Ressano Garcia, engenheiro e chefe da repartição técnica da Câmara Municipal de Lisboa no final do séc. XIX, tendo elaborado o projeto de esgotos da capital, apresentado em 1884, o qual preconizava um sistema unitário, que desaguava diretamente no estuário do Tejo (J.S. Matos *et al*, 2008).

#### **2.4.3 O caso português**

No ano de 1864, as cidades do Porto e de Lisboa representavam 60% da totalidade da população urbana nacional, mas somente 7,4% da totalidade da população nacional. Para além do mais, apresentavam um elevado crescimento demográfico, em comparação com o total nacional. Assim sendo, só seria possível atingir uma melhoria da saúde pública ao conjugar os conhecimentos em engenharia sanitária com uma consciencialização da população para a importância da higiene (Bonito, 2014).

À data, a capacidade de investimento em medidas e em equipamentos para a melhoria sanitária do sistema de esgotos e coletores era bastante reduzida, deteriorando-se a saúde pública nas cidades. Apenas as duas maiores cidades portuguesas conseguiam apresentar algumas melhorias, embora bastante ténues. (J.S. Matos *et al*, 2008).

Idealizou-se a diferenciação de duas entidades que regessem as bases da gestão dos sistemas de drenagem urbanos em território português: a “Junta Central de Melhoramentos Sanitários”, que teve modificações até chegar ao atual “Ministério das Obras Públicas”, e as Autarquias. À Junta Central de Melhoramentos Sanitários competia a fiscalização, planificação, orientação e regulação técnica das obras e, às Autarquias cabia a função financeira necessária à realização das obras. Porém, tal ideia

nunca foi completamente aplicada, tendo-se adiado ao longo dos anos a sua implementação, devido à falta de orçamento e à forte instabilidade política vivida (Bonito, 2014).

Segundo a ERSAR, no início da década de 1970 a orientação principal do Estado era o abastecimento de água potável às populações, menosprezando os sistemas de drenagem urbana, sendo possível concluir também que, durante o período da história portuguesa conhecido como “Estado Novo”, o ritmo de crescimento de infraestruturas dedicadas aos sistemas de drenagem e de tratamento de águas residuais foi bastante reduzido, visto que 83% da população portuguesa não tinha sequer acesso a uma rede de esgotos ou a fossas coletivas (ERSAR, 2007).

Até ao ano de 1975, uma das principais carências foi a inexistência de um plano estratégico nacional de drenagem urbana. À data, eram ainda necessárias a criação de infraestruturas em todo o país, a modificação das ligações sanitárias das habitações e garantir uma correta ligação às redes de esgotos. (J.S. Matos *et al*, 2008).

### **Estabelecimento da rede separativa**

A nível nacional, surge a primeira rede separativa de águas residuais, na década de 1930, na cidade do Porto, com base num projeto de autoria inglesa, tendo-se expandido depois esse tipo de rede, durante as décadas de 1940 e de 1950, às zonas do Estoril e de Cascais, mais a Sul do país. Em comparação, grande parte dos aglomerados urbanos do país tinham um sistema de drenagem do tipo pluvial e do tipo unitário. Até à década de 1970, fizeram-se obras de remodelação em várias localidades do país, adaptando-as a um sistema separativo, casos de Barreiro, Beja, Viseu, Tomar, Lisboa e Elvas. Complementarmente foram construídas redes totalmente novas, do tipo separativo, em localidades como: Almada, Costa de Caparica e Setúbal (Matos, 2003).

Noutros locais a opção passou por manter um sistema unitário, mas utilizando descarregadores de tempestade, para controlar o excesso de água pluvial em períodos de chuva que sobrecarregava todo o sistema. Finalmente, nos fins do séc. XX, o foco principal incidiu no desenvolvimento dos sistemas de tratamento de águas residuais pelo meio das ETAR, tendo-se potenciado até aos dias de hoje um serviço público de drenagem e de tratamento de águas residuais que serve cerca de 90% da população portuguesa (Matos, 2003).

Em 1993 dá-se uma modificação a nível operativo, criando-se o “Instituto da Água” (INAG) e o grupo empresarial “Águas de Portugal”, que promovem a separação dos sistemas de drenagem em “alta” e em “baixa”, possibilitando gestões diferentes e por entidades distintas para cada um dos sistemas.

### **Situação atual**

Em Portugal verifica-se que não existe ainda um tratamento assegurado para todas as águas residuais recolhidas e que um dos principais problemas se relaciona com a separação municipal dos sistemas em “baixa” e em “alta”. Apesar de tal separação ter impulsionado o desenvolvimento do sistema em “alta”, criando boas condições de transporte e de tratamento das águas residuais, não foi assegurado um desenvolvimento equilibrado do sistema em “baixa”, mantendo-se a problemática a montante das principais soluções implementadas, em especial na fase de recolha de águas residuais.

A nível nacional registou-se uma tendência de desenvolvimento desigual entre regiões, sendo que, no norte litoral, a população abrangida por sistemas de drenagem de águas residuais é notoriamente inferior à do centro do país. Tal também se justifica pela maior dispersão populacional, o que leva a

que seja mais difícil a implementação de um sistema que consiga servir todas os habitantes.

O “**PENSAAR 2020**”, elaborado por uma comissão criada pelo despacho nº 9304/2013, consistiu numa nova estratégia para o setor de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais. Este plano surge como uma sequência das medidas já idealizadas de dois planos anteriores, referentes aos períodos de 2000-2006 e de 2007-2013. Tal plano tem três objetivos estratégicos principais, subdivididos em diversos objetivos operacionais. O objetivo operacional 1 consiste em servir, até ao ano de 2020, cerca de 95% da população total do país com sistemas públicos de abastecimento e cerca de 90% com sistemas públicos de saneamento (PENSAAR 2020).

No período de 2007 a 2011 a taxa de cobertura dos serviços de abastecimento subiu 3%, atingindo o objetivo de servir 95% da população nacional; porém, a nível da abrangência dos serviços de saneamento, apenas 78% da população é servida por sistemas de tratamento e 81% é servida por sistemas de recolha de águas residuais (**Figura 3**).



Figura 3 - Evolução do nível de cobertura do serviço de saneamento (adaptado PENSAAR 2020)

Assim sendo, é desejável que a evolução dos sistemas de saneamento e o seu nível de cobertura continuem o seu percurso crescente, podendo alcançar-se no ano de 2020 o objetivo operacional pretendido. No entanto, é importante referir que a população ainda não servida por sistemas de drenagem está localizada em regiões de baixa densidade populacional, em que o custo unitário de serviço é superior à média nacional, e onde a capacidade financeira da população é insuficiente, pelo que talvez seja utópico o objetivo definido, enquanto os custos associados não sofrerem alterações significativas (PENSAAR 2020).

Cabe aos Municípios a constante melhoria do sistema em “baixa”, para acompanhar a diversidade de soluções implementadas pelo sistema em “alta”, equilibrando o processo de drenagem de águas, aumentando a sua eficiência e reduzindo os custos devidos à má gestão da rede. A legislação aprovada no ano de 2009 teve uma forte influência nos processos de regulação e de controlo ambiental do setor das águas, impulsionando-se o regime de parceria entre o Estado e os municípios. O Estado, através do grupo “Águas de Portugal”, assumiu a prestação dos serviços em “alta” nos sistemas multimunicipais, cabendo aos Municípios a gestão direta e a participação em concessões multimunicipais (Bonito, 2014).

# **REGULAÇÃO E CONTROLO DE CAUDAL**

---

## **3.1 Componentes dos sistemas de drenagem e reguladores de caudal**

### **3.1.1 Componentes dos sistemas de drenagem**

No que se refere aos principais componentes que integram uma rede de drenagem urbana, destacam-se principalmente: a rede coletora, as estações elevatórias e os órgãos acessórios.

No caso da rede coletora, os seus constituintes principais são a rede interior dos edifícios, os ramais de ligação, a rede de drenagem e os emissários/interceptores. Tais componentes são os mais comumente constituintes dos sistemas de drenagem de águas residuais em meio urbano e têm funções principalmente ligadas ao transporte da água residual. A rede interior aos edifícios faz o transporte das águas pluvial e residual doméstica para os ramais de ligação os quais, por sua parte, encaminham essas mesmas águas para a rede de drenagem, que vai acumulando todas as águas recebidas por cada ramal ao longo do aglomerado urbano que serve. Finalmente, os emissários e os interceptores fazem chegar a água residual ao local de tratamento ou ao local de descarga definido (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

As estações elevatórias são componentes complementares à rede, as quais se tornam uma opção em caso de não ser possível realizar uma drenagem em condições gravíticas, quer por razões económicas, quer por impossibilidade técnica (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

Em sistemas de drenagem de águas residuais podem ser particularizados como órgãos acessórios os coletores e respetivos acessórios, bem como as câmaras de visita em ambos os tipos de sistema, para além dos sumidouros e das sarjetas, no caso de redes unitárias (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

Devido à complexidade dos problemas que têm de ser solucionados durante a fase de projeto, é necessária a consideração de obras complementares à rede de drenagem, que adicionem ao sistema alguns órgãos especiais, cada um com uma função específica direcionada para a resolução dos problemas evidenciados aquando da realização do projeto. Tais órgãos acessórios são também complementares à rede, destacando-se, entre outros, os seguintes:

#### **Sifões Invertidos**

Um sifão invertido consiste num troço gravítico de coletor por onde a circulação de água se processa sob pressão. A sua utilidade prende-se com a transposição de obstáculos de natureza diversa, sem perda significativa da energia do escoamento. Os obstáculos mencionados podem consistir em outras condutas de água que se pretendem transpor, condutas de gás ou até depressões naturais do terreno, entre tantas outras (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

No entanto, devido à forma de funcionamento de um sifão invertido em termos hidráulico-sanitários, é desejável que se evite a sua utilização tanto em sistemas de drenagem de água residual como de água pluvial. Devido ao facto de o escoamento no seu interior se processar sob pressão, em termos

sanitários, é possível atingirem-se condições anaeróbias, produzindo-se sulfuretos, que criam problemas a todo o sistema envolvente (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

Também é de notar que, devido ao declive com que são implementados é um órgão suscetível de desenvolver acumulação de sólidos transportados pelas águas residuais ou pluviais, em particular durante o período noturno, em que a tensão de arrastamento é menor e existe uma insuficiência de autolimpeza, que conduz à deposição de sólidos (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

Atendendo à necessidade de cuidados de planeamento deste tipo de órgãos, o dimensionamento hidráulico-sanitário de sifões invertidos deve seguir alguns critérios, entre os quais se destacam (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991):

- ✓ Critério de diâmetro mínimo: o diâmetro mínimo deve ter em conta a possibilidade de obstrução, sendo recomendado 200 mm para redes de água residual e 300 mm no caso de águas pluviais;
- ✓ Critério de autolimpeza: é necessária a verificação de uma velocidade mínima do escoamento nas condutas sob pressão que constituem os ramos dos sifões de 0,9 m/s para redes de águas residuais e entre 1,25 m/s a 1,5 m/s para redes pluviais;
- ✓ Critério de velocidade máxima: é necessária a verificação de uma velocidade média do escoamento que não ultrapasse os 3 m/s, de forma a evitar erosão e desgaste das paredes;
- ✓ Controlo sanitário: quando é relevante a produção de sulfuretos, devido à falta de arejamento da massa líquida, é necessário promover um controlo do comportamento sanitário do sistema, através da adição de químicos, da injeção de ar ou de oxigénio dissolvido nos pontos baixos dos sifões;
- ✓ Perdas de carga: tanto a câmara de entrada como a de saída do sifão invertido devem ser concebidas de forma a minimizar as perdas de carga localizadas;
- ✓ Pressão interna: a verificação da pressão interna deve ser efetuada tendo em conta a linha de energia dinâmica do escoamento para caudal máximo.

### **Instalações Elevatórias**

As instalações elevatórias são estruturas usuais em sistemas de drenagem de águas residuais, normalmente implementadas em zonas planas, onde, devido às condições topográficas, não seja possível proceder-se a um escoamento gravítico em superfície livre. Uma das suas aplicações mais usuais é a montante das ETAR, onde se recorre a elevação com parafusos de Arquimedes.

Uma estação elevatória é um órgão particularmente delicado presente nos sistemas de drenagem e deve ser, por isso, cuidadosamente dimensionado. De antemão, é facilmente perceptível que existirão dificuldades inerentes ao facto de a água residual apresentar uma elevada concentração de matéria em suspensão e também que as variações de caudal diárias se manifestam de forma relevante no funcionamento destes órgãos (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

Quanto à localização ideal de uma estação elevatória, pode afirmar-se que ela será apenas implementada nos locais onde o escoamento gravítico não for viável e que, no caso de ser necessária a sua construção, deverá dispor de fontes de energia elétrica e de abastecimento de água próximos. Também se deve privilegiar a sua localização perto de um curso de água recetor, no caso de haver necessidade de descarga das águas residuais que afluem às elevatórias (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

## **Descarregadores**

Existem diversos tipos de descarregadores, normalmente classificados quanto à sua finalidade. É assim possível diferenciar: descarregadores de tempestade, descarregadores de transferência e descarregadores de segurança (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

- Os descarregadores de tempestade destinam-se a desviar caudais pluviais excedentes para fora do sistema de drenagem, fazendo a sua descarga normalmente num curso de água próximo.
- Os descarregadores de transferência têm por função dividir o caudal excedente de um coletor sobrecarregado para outros coletores que transportem menos caudal.
- Os descarregadores de segurança são principalmente instalados a montante de órgãos importantes do sistema, para descarga de caudais, havendo necessidade disso.

O tipo de funcionamento dos descarregadores utilizados frequentemente nas redes de drenagem de águas pode também ser uma forma de classificação dos mesmos, podendo assim falar-se de descarregadores de superfície, de descarregadores laterais ou de descarregadores frontais, conforme o sentido preferencial do escoamento, e também de descarregadores por orifício (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

Uma das aplicações mais frequentes dos descarregadores consiste na sua utilização para a melhoria do comportamento dos sistemas de drenagem do tipo unitário, ou pseudo-separativo, desviando os caudais domésticos para emissários que os conduzam às estações de tratamento. Sendo assim, é necessário limitar o caudal doméstico desviado, tendo em conta a capacidade da infraestrutura de tratamento. O mais usual, em termos europeus, para sistemas unitários é dimensionar os descarregadores para desviarem o dobro do caudal de ponta em tempo seco, ou seis vezes o caudal médio. Também se procede à utilização de descarregadores em sistemas do tipo separativo, de forma a garantir, a montante das ETAR ou das elevatórias, que não afluem a jusante caudais superiores àqueles para que essas infraestruturas foram dimensionadas (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

Um descarregador de superfície frontal tem-lhe associado um dimensionamento hidráulico simples e dependente da curva de vazão do próprio descarregador, pois é possível considerar-se regime permanente e carga constante ao longo da crista. Não obstante a simplicidade de dimensionamento de descarregadores frontais, em Portugal é mais comum a utilização de descarregadores de superfície laterais como órgãos de segurança nas ETAR (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

O controlo de caudal a desviar pelo descarregador pode ser efetuado de diversas formas, sendo uma delas através das próprias cotas das paredes do descarregador, colocando-as à cota correspondente à altura uniforme do escoamento associado ao caudal a desviar. Quando o caudal supera a cota das paredes, é desviado o excedente de acordo com a lei de vazão do descarregador, mas não é possível um controlo eficaz do caudal desviado (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

Uma das soluções mais adequadas é, no entanto, a utilização de equipamentos de regulação de caudal, porque asseguram que os caudais desviados não excedem os valores estabelecidos, independentemente da carga hidráulica a montante.

Atendendo principalmente aos descarregadores de superfície em geral, que são instalados a montante de órgãos importantes, enunciam-se alguns critérios que devem ser observados:

- ✓ Minimização da turbulência e obstrução dos coletores a jusante;
- ✓ Capacidade de autolimpeza;
- ✓ Minimização dos cuidados de exploração e de conservação;
- ✓ Entrada em funcionamento apenas aquando da ultrapassagem do caudal pré-estabelecido;
- ✓ Relacionamento do caudal desviado com o caudal afluente, de forma a permanecer aproximadamente constante o caudal residual a tratar;
- ✓ Capacidade de minimização da afeção do caudal descarregado no meio.

### 3.1.2 Reguladores de caudal

O controlo da afluência de caudais unitários aos sistemas intercetores era vulgarmente efetuado por paredes descarregadoras, sendo a crista da parede colocada à cota da altura do escoamento, em regime uniforme, correspondente ao caudal a desviar. Em alguns casos optava-se pela instalação de dois descarregadores em série, desviando-se parte do caudal afluente no primeiro e parte do caudal excedente no segundo descarregador (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

No entanto, este tipo de equipamentos não tem um funcionamento perfeito e encontra-se atualmente em desuso. Considera-se então mais adequada a implementação de válvulas de regulação de caudal, que permitem um controlo efetivo das afluências aos sistemas intercetores.

No caso da implementação de válvulas reguladoras de caudal, deve ser prevista a utilização de uma reserva de armazenamento, com vista a minimizar os efeitos das descargas nos meios recetores. Tais armazenamentos de caudal devem conseguir totalizar o volume de água correspondente ao “*first flush*”, pois são essas as maiores cargas poluentes esperadas.

Na sua forma mais comum, os tanques de instalação de reguladores de caudal estão divididos em quatro câmaras (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991):

- Uma **câmara central**, que dispõe de uma caleira por onde a água residual do coletor unitário é conduzida à entrada do elemento regulador de caudal e que se encontra separado da câmara de retenção e de alívio por muros com cristas a cotas distintas (a altura do muro da câmara de retenção é inferior à altura do muro da câmara de alívio);
- Uma **câmara de retenção**, que se destina ao armazenamento do caudal afluente, quando ultrapassada a capacidade da primeira câmara (constitui uma reserva em paralelo “*off-line*”);
- Uma **câmara de alívio**, para a qual é conduzido o excesso de caudal que as câmaras anteriores não conseguem reter, sendo o efluente encaminhado para o meio recetor;
- Uma **câmara seca**, onde se instala o equipamento regulador de caudal.

Contudo, é importante distinguir entre instalações de válvulas de regulação de caudal em câmara húmida e em câmara seca/semi-seca. Na instalação em câmara húmida a válvula de regulação encontra-se na câmara central, ficando submersa quando aumenta o caudal armazenado; e, na instalação em câmara seca, ou semi-seca, a válvula é instalada numa câmara adjacente.

Entende-se então que, a nível de manutenção dos equipamentos, a instalação em câmara seca facilita bastante os processos, mas muitas vezes a opção por câmara húmida é preferida, porque engloba menos custos de construção e exige menos precauções aquando do seu dimensionamento.

Em suma, as válvulas de regulação de caudal são uma forma adequada ao controlo mais eficaz de caudais unitários em tempo de chuva, sendo dimensionadas para permitirem a passagem, de uma a três vezes, o caudal de ponta em tempo seco e sendo descarregado o excesso de caudal suficientemente diluído para um meio recetor (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

O tipo de equipamento disponível é muito variado destacando-se, essencialmente, dois tipos de reguladores de caudal: as válvulas do tipo vórtice e as válvulas do tipo flutuador.

### Tipo Vórtice

Qualquer que seja o modelo de regulador de caudal do tipo vórtice, este obedece sempre ao mesmo princípio de funcionamento em função da carga de água que lhe aflui. Em tempo seco as perdas de carga localizadas são pouco significativas, não condicionando o escoamento; e, em tempo de chuva, quando o caudal afluyente supera o caudal de dimensionamento da válvula, o aumento do nível de água provoca uma acumulação de ar na parte superior do regulador que, por sua vez, provoca um efeito rotacional do escoamento (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

Tal efeito rotacional, denominado de vórtice, consiste na conversão da energia potencial do escoamento em energia cinética, registando-se uma perda de carga localizada considerável, que permite regular a descarga. No final do evento pluvioso a altura de água diminui e o vórtice colapsa, aumentando novamente o caudal e a velocidade do escoamento, que auxilia ao efeito de autolimpeza do equipamento e do restante sistema de jusante (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

Analisando a curva característica de uma válvula do tipo vórtice (**Figura 4**), constata-se que, uma vez formado o vórtice, a variação de caudal descarregado com a carga hidráulica de montante é pouco significativa, uma vez que a carga hidráulica de montante depende do caudal que aflui ao regulador.

Um fenómeno particular inerente a este tipo de equipamentos é a histerese resultante do facto de existirem duas alturas de escoamento diferentes para um mesmo valor de caudal.

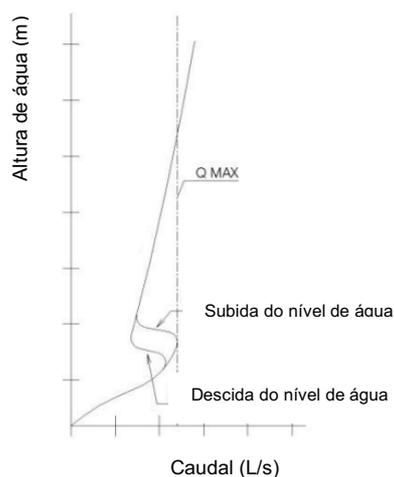


Figura 4 - Curva característica de modelos vórtice

A principal característica deste tipo de equipamentos é a possibilidade de regulação de caudais relativamente reduzidos com elevada secção de escoamento, visto que o caudal de saída varia pouco com a carga hidráulica de montante. Sendo assim, um regulador do tipo vórtice pode operar em caudais de 10 a 800 L/s, com cargas de água superiores a 4,0 m (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

## Tipo Flutuador

Em alternativa às válvulas do tipo vórtice, é possível instalarem-se válvulas do tipo flutuador, em situações de grande variabilidade do nível de água, como acontece no caso de coletores unitários, ou em situações em que a maré influencie o seu funcionamento. Outra vantagem das válvulas do tipo flutuador é que, através do seu sistema de controlo de caudal, recorrendo a comportas de saída e de entrada, é possível ajustar no campo o caudal de saída pretendido, modificando a posição da comporta de saída (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

Em tempo seco, as comportas que constituem o equipamento encontram-se totalmente abertas, permitindo que todo o caudal atravessasse a válvula até ao coletor de jusante, sem qualquer modificação do escoamento. No entanto, em tempo de chuva, devido ao aumento do nível da água, um flutuador faz com que a comporta de entrada da válvula se feche, permanecendo a comporta de saída totalmente aberta, mantendo assim o caudal de saída constante (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

Analisando agora a sua curva característica (**Figura 5**), constata-se que é permitido, durante um certo período, o escoamento que passa através da válvula ser superior ao caudal teoricamente esperado com o aumento do nível de água, fenómeno que se explicará mais à frente, neste documento. Posteriormente, a partir de uma certa altura de água pré-estabelecida, o caudal de saída permanece constante.

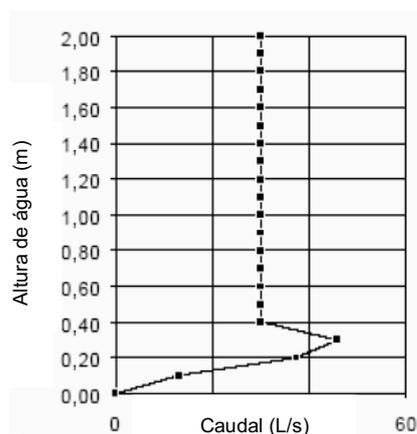


Figura 5 - Curva característica de modelos flutuador

As válvulas do tipo flutuador funcionam preferencialmente com alturas de água entre 0,5 m e 4 m e são indicadas para a regulação de caudais unitários entre 6 e 450 L/s. Tal como as válvulas do tipo vórtice, funcionam de forma automática e sem necessidade de fornecimento de energia elétrica (Matos e Sousa, 1987; Sousa e Matos, 1991).

## 3.2 Princípios de funcionamento dos modelos disponíveis

### 3.2.1 Válvulas de flutuador

#### 3.2.1.1 Modelos *HydroSlide*

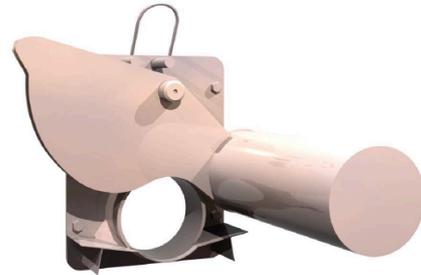
Os modelos *HydroSlide* foram os primeiros a ser desenvolvidos, sendo por isso também os mais simples. Consistem em válvulas reguladoras de caudal do tipo flutuador, com diversas variantes entre si. O tipo de instalação diferencia os modelos fabricados, sendo que, de entre as alternativas possíveis de serem adquiridas, existem válvulas para instalação em todo o tipo de câmaras (Steinhardt, 2015).

Alguns modelos *HydroSlide* foram pensados para solucionar o problema relacionado com a obstrução da secção de descarga das válvulas devido a sólidos e partículas que se acumulavam por sedimentação, especialmente em tempo seco, em que a tensão de arrastamento não é suficiente para evitar deposições. A sua progressiva evolução e a consideração da importância da incorporação de sistemas de desobstrução automática fizeram com que se desenvolvessem novos modelos que trabalhassem também com desobstrução automática, mas para caudais mais robustos e para aplicação em câmaras húmida, semi-seca ou seca (Steinhardt, 2015).

### **HydroSlide MINI**

#### **Características Gerais do Modelo:**

- ✓ Relação Q/h com trecho perpendicular;
- ✓ Simples e economicamente viáveis;
- ✓ Exigência de construções de pequeno porte;
- ✓ Instalação possível até alturas de 3,5 DR;
- ✓ Robustez de construção;
- ✓ Facilidade de instalação;
- ✓ Reduzida necessidade de manutenção.

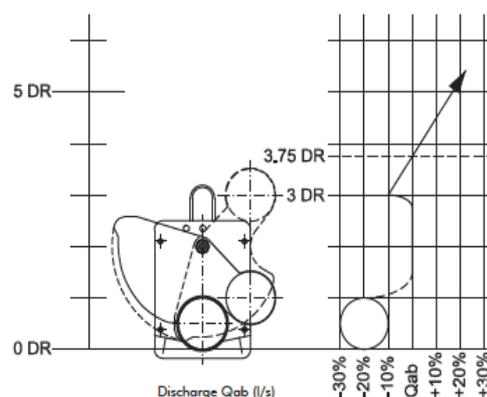


**Figura 6 - Regulador HydroSlide MINI**

Neste modelo, uma boia flutuadora encontra-se diretamente ligada à válvula de controlo de caudal e tem a possibilidade de se mover para a esquerda ou para a direita, conforme definido no projeto de dimensionamento. Não apresenta perdas de carga e vem equipado com um sistema de abertura manual, em caso de necessidade (Steinhardt, 2015).

Quando o nível de água na abertura de descarga aumenta ou diminui, a boia flutuadora faz com que a chapa metálica do controlador rode. Isso permite o ajuste para a obtenção de um volume de descarga exato e constante, iniciando-se então o fecho da secção de descarga, com o aumento do nível de água, em que o flutuador se desloca para cima, originando uma rotação da chapa metálica sobre o orifício de descarga (Steinhardt, 2015).

Quanto maior se torna a pressão da água menor será a área da secção de descarga disponível, registando-se o início de um trecho perpendicular na relação Q/h (caudal constante), a uma altura de aproximadamente 1,5 DR, e estando o equipamento dimensionado para funcionar com alturas de enchimento até aproximadamente 3,5 DR (**Figura 7**).



**Figura 7 - Curva característica modelo MINI**

O modelo *MINI* permite abranger uma larga gama de caudais de descarga, sendo a própria empresa a fornecer tabelas para a escolha da dimensão da abertura de descarga necessária para limitar o caudal pretendido em projeto. Os modelos têm um DR pré-definido, que pode ser ajustado para otimização do caudal e também se pode fazer um pedido de fabrico com um DR intermédio.

Conforme é possível constatar na **Tabela 1**, os caudais abrangidos vão desde 1 L/s até 5390 L/s, existindo para todas as variantes a hipótese de rotação do flutuador para a direita ou para a esquerda, podendo quase todos os modelos ser utilizados em todos os tipos de água (RW – pluvial; MW – unitário; SW – água residual), à exceção da variante DR 100, que só pode ser aplicada a águas pluviais e DR 150 que não pode ser aplicada a água residual (Steinhardt, 2015).

**Tabela 1 - Gama de aplicação do modelo MINI**

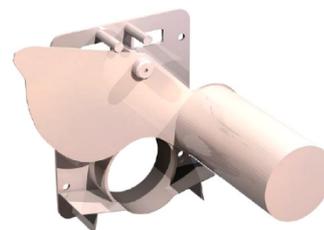
DR	Caudal (L/s)		Altura de água (m)		Movimento do Flutuador			Tipo de água		
	de	até	de	até	Esq.	Dir.	Frontal	RW	MW	SW
100	1	5	0,20	0,40	*	*		*	*	
150	5,1	25	0,40	0,75	*	*		*	*	
200	25,1	35	0,40	0,75	*	*		*	*	*
250	35,1	60	0,50	0,90	*	*		*	*	*
300	61	100	0,60	1,10	*	*		*	*	*
350	105	135	0,70	1,30	*	*		*	*	*
400	105	200	0,80	1,50	*	*		*	*	*
500	205	300	1,00	1,85	*	*		*	*	*
600	335	550	1,20	2,20	*	*		*	*	*
700	535	770	1,40	2,60	*	*		*	*	*
800	775	1080	1,60	3,00	*	*		*	*	*
900	1080	1500	1,80	3,30	*	*		*	*	*
1000	1400	1960	2,00	3,70	*	*		*	*	*
1100	1780	2480	2,20	4,10	*	*		*	*	*
1200	2210	3090	2,40	4,40	*	*		*	*	*
1300	2700	2770	2,60	4,80	*	*		*	*	*
1400	3250	4540	2,80	5,20	*	*		*	*	*
1500	3870	5390	3,00	5,55	*	*		*	*	*

É um regulador bastante simples e simultaneamente bastante robusto, em aço inoxidável AISI 316 L. Torna-se ideal para ser aplicado em pequenas estruturas e o seu desenho garante um nível elevado de fiabilidade, exigindo também reduzida manutenção (Steinhardt, 2015).

### **HydroSlide MiniSlide**

#### **Características Gerais do Modelo:**

- ✓ Simples e economicamente viável;
- ✓ Exigências de construções de pequeno porte;
- ✓ Robustez de construção em aço inoxidável AISI 304 ou 316;
- ✓ Facilidade de instalação;
- ✓ Com fenómeno “initial flush”;
- ✓ Sem necessidade de fornecimento de energia externa;
- ✓ Sem necessidade de manutenção regular.



**Figura 8 - Modelo HydroSlide MiniSlide**

O modelo *MiniSlide* é uma modificação do modelo *MINI*, que apresenta um princípio de funcionamento em tudo igual, embora sirva para apenas três gamas de caudais de dimensionamento, variando dos 3 L/s até aos 55 L/s. É uma opção bastante válida para alturas de enchimento variáveis dos 0,20 m aos 2,00 m (Steinhardt, 2015).

Verifica-se ser um modelo que, como trabalha para caudais reduzidos e com DR também reduzidos, não é indicado para sistemas de esgoto, mas que pode ser utilizado em sistemas de água pluvial e em sistemas unitários para os casos de DR 150 e DR 200 (Steinhardt, 2015).

## HydroSlide VM, VN e VS

### Características Gerais dos Modelos:

- ✓ Modelos simples e de desenho robusto;
- ✓ Contêm uma roldana de mão para operação manual à superfície;
- ✓ Sistema de regulação protegido por revestimento;
- ✓ Sem fenómeno inicial de “initial flush”;
- ✓ Possibilidade de modificação do disco para outros parâmetros de caudal;
- ✓ Possibilidade de controlo remoto.

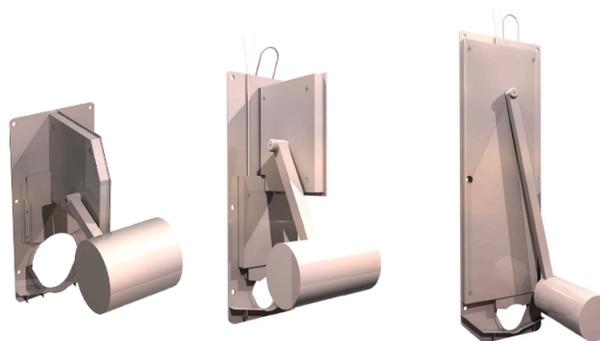


Figura 9 – Regulador HydroSlide VM, VN e VS

Estes tipos de controladores estão equipados com um disco atuado por um flutuador. O referido disco faz deslocar uma placa verticalmente na frente da abertura de descarga, permitindo controlar o volume de descarga. Poderão também estar equipados com uma válvula controlada por um braço flutuador, que regula uma chapa metálica, de forma vertical, em frente da secção de descarga (Steinhardt, 2015).

Quanto à gama de caudais passíveis de controlar pelo modelo VM, eles vão desde os 61 L/s até aos 770 L/s, com possibilidade de rotação do flutuador só de forma frontal ao escoamento. Podem utilizar-se para águas de todos os tipos, à exceção do modelo de DR 300, que não pode ser utilizado em esgoto (**Tabela 2**).

Tabela 2 - Gama de aplicação do modelo VM

DR	Caudal (L/s)		Altura de água (m)		Movimento do Flutuador			Tipo de água		
	de	até	de	até	Esq.	Dir.	Frontal	RW	MW	SW
300	61	100	0,60	1,10			*	*	*	*
400	105	200	0,80	1,50			*	*	*	*
500	205	300	1,00	1,85			*	*	*	*
600	335	550	1,20	2,20			*	*	*	*
700	535	770	1,40	2,60			*	*	*	*

Para o modelo VN, a gama de caudais é mais abrangente, indo desde os 5,1 L/s até aos 1960 L/s, com possibilidade de rotação do flutuador para a esquerda, para a direita ou frontal ao escoamento. Podem utilizar-se para águas de todos os tipos, à exceção do modelo de DR 150, que só pode ser utilizado para águas pluviais (**Tabela 4**).

Em comparação, o modelo VS trabalha para menores caudais, dos 1 L/s até 770 L/s, podendo o flutuador rodar das mesmas três formas. Pode ser utilizado para qualquer tipo de águas, à exceção do modelo de DR 100, que só pode ser usado para águas pluviais, e do modelo DR 150, que não pode ser utilizado em esgoto (**Tabela 3**).

Tabela 4 - Gama de aplicação do modelo VS

DR	Caudal (L/s)		Altura de água (m)		Movimento do Flutuador			Tipo de água		
	de	até	de	até	Esq.	Dir.	Frontal	RW	MW	SW
100	1	5	0,40	1,40	*	*	*	*	*	*
150	5,1	25	0,40	2,80	*	*	*	*	*	*
200	25,1	35	0,40	2,80	*	*	*	*	*	*
250	35,1	60	0,50	3,50	*	*	*	*	*	*
300	61	100	0,60	4,20	*	*	*	*	*	*
400	105	200	0,80	5,65	*	*	*	*	*	*
500	205	300	1,00	7,05	*	*	*	*	*	*
600	335	550	1,20	8,45	*	*	*	*	*	*
700	535	770	1,40	9,90	*	*	*	*	*	*

Tabela 4 - Gama de aplicação do modelo VN

DR	Caudal (L/s)		Altura de água (m)		Movimento do Flutuador			Tipo de água		
	de	até	de	até	Esq.	Dir.	Frontal	RW	MW	SW
150	5,1	25	0,40	1,45	*	*	*	*	*	*
200	25,1	35	0,40	1,45	*	*	*	*	*	*
250	35,1	60	0,50	1,80	*	*	*	*	*	*
300	61	100	0,60	2,20	*	*	*	*	*	*
400	105	200	0,80	2,90	*	*	*	*	*	*
500	205	300	1,00	3,60	*	*	*	*	*	*
600	335	550	1,20	4,35	*	*	*	*	*	*
700	535	770	1,40	5,10	*	*	*	*	*	*
800	775	1080	1,60	5,80	*	*	*	*	*	*
900	1080	1500	1,80	6,50	*	*	*	*	*	*
1000	1400	1960	2,00	7,25	*	*	*	*	*	*

Ambos são equipados com um mecanismo que torna possível a abertura total da secção, de forma manual, em caso de necessidade, por obstrução do sistema ou para descarga do sistema de montante.

O modelo *VM* é dimensionado para funcionar com alturas de enchimento até aproximadamente 3,5 DR, o modelo *VN* até aproximadamente 7 DR e o *VS* até 13,5 DR (**Figura 10**).

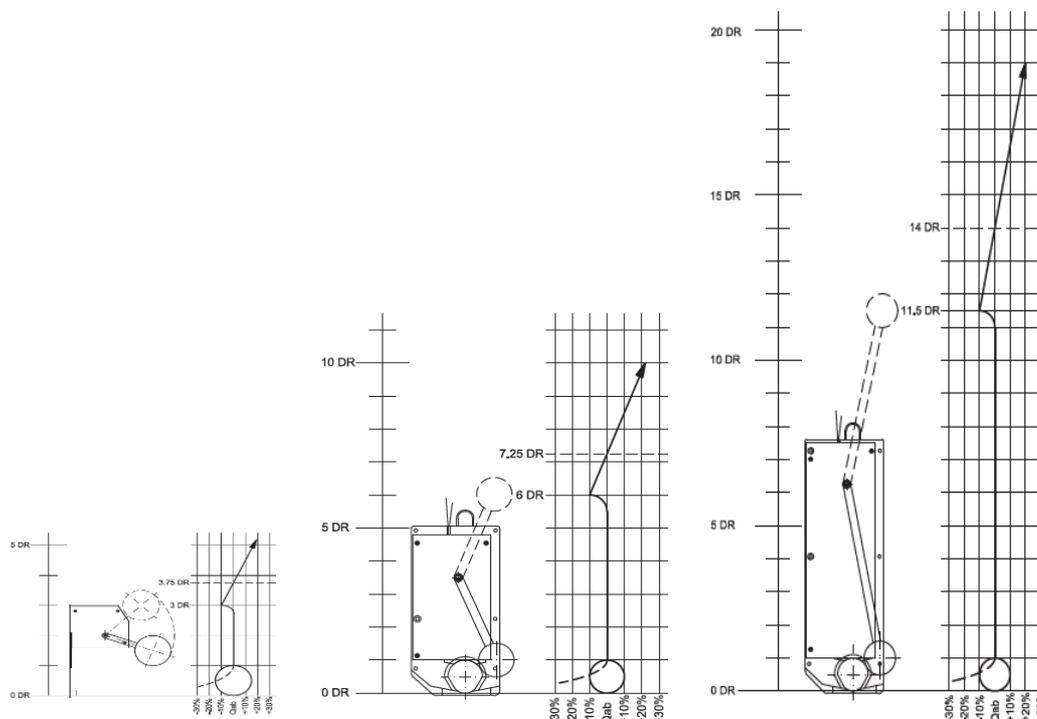


Figura 10 – Curvas características dos modelos VM – VN – VS

### **HydroSlide Giehlmatic Automatic Regulator**

#### **Características Gerais do Modelo:**

- ✓ Desobstrução automática;
- ✓ Modelo simples e de desenho robusto;
- ✓ Contém uma roldana de mão para operação manual à superfície;
- ✓ Sistema de regulação protegido por revestimento;
- ✓ Sem fenómeno inicial de "initial flush";
- ✓ Possibilidade de modificação do disco para outros parâmetros de caudal;
- ✓ Possibilidade de controlo remoto.

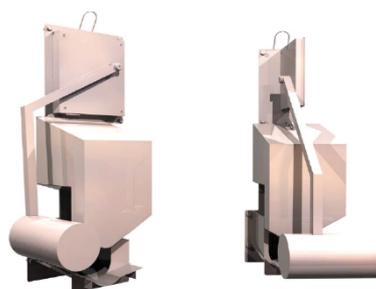


Figura 11 –Regulador HydroSlide Giehlmatic

O modelo *Giehlmatic* é um modelo automático, na medida em que é uma unidade de estrangulamento, tal como as anteriores, mas que tem a capacidade de remoção de obstruções automaticamente (Steinhardt, 2015). A altura de enchimento máxima do modelo é de 13,5 DR, embora se possam alcançar alturas superiores, com a adaptação de um disco excêntrico (**Figura 12**).

O controlador é capaz de reconhecer uma obstrução da secção de descarga e abre-se automaticamente, para que o aumento do fluxo de água a desobstrua.

Destina-se especialmente a ser utilizado em casos em que não sejam esperadas obstruções frequentes, para não existirem demasiados processos de desobstrução, os quais aumentam o fluxo momentaneamente. Também dispõe de um flutuador que se pode movimentar para a esquerda ou para a direita e existe a possibilidade manual de abertura total da seção em caso de necessidade (Steinhardt, 2015).

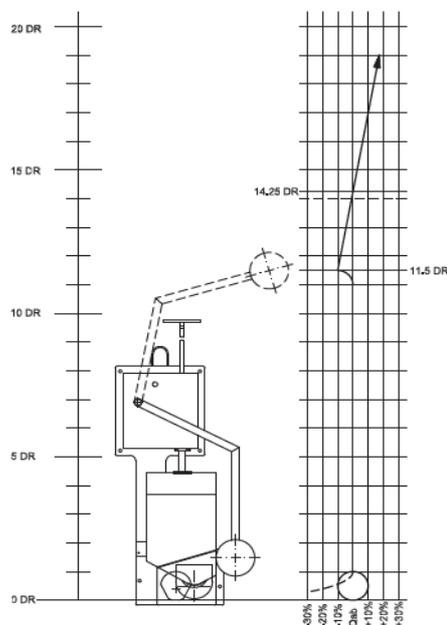


Figura 12 – Curva característica do modelo Giehlmatic

No caso do modelo *Giehlmatic*, a gama de caudais abrangida é muito inferior às anteriores, trabalhando com caudais apenas dos 5 L/s aos 60 L/s, com a possibilidade de rotação do flutuador nas três direções já referidas. Pode ser utilizado para qualquer tipo de águas, à exceção dos modelos no intervalo de caudal de 5 a 25 L/s, que só podem ser utilizados para pluviais (Tabela 5).

Tabela 5 – Gama de aplicação do modelo Giehlmatic

DR	Caudal (L/s)		Altura de água (m)		Movimento do Flutuador			Tipo de água		
	de	até	de	até	Esq.	Dir.	Frontal	RW	MW	SW
150	5	25	0,60	2,10	*	*	*	*	*	*
150	10	25	0,60	2,10	*	*	*	*	*	*
150/200	5	25	0,80	2,85	*	*	*	*	*	*
150/200	10	25	0,80	2,85	*	*	*	*	*	*
200	25,1	35	0,80	2,85	*	*	*	*	*	*
250	35,1	60	1,00	3,55	*	*	*	*	*	*

### HydroSlide função VARIO

Todos os modelos anteriores têm a opção de funcionamento em *VARIO*, ou seja, podem ser infinitamente variáveis, de modo a alterar a descarga em até 30% da descarga medida (Steinhardt, 2015).

Essa possibilidade de variação é conseguida através de uma roldana manual que permite o ajuste exato da descarga exigida. Assim sendo, a descarga é completamente ajustável ao longo do período de operação e a fiabilidade do estrangulamento é muito elevada, até mesmo quando existam quebras no fornecimento elétrico.

## HydroSlide Combi e FlatFlow

### Características Gerais do Modelo FlatFlow:

- ✓ Possibilidade de instalação em câmara húmida ou semi-seca;
- ✓ Sem necessidade de fontes de energia externa;
- ✓ Equipamento robusto em aço inoxidável AISI 304;
- ✓ Descarga ajustável depois de instalado;
- ✓ Abertura automática em caso de obstrução mesmo com alturas de enchimento reduzidas;
- ✓ Reação rápida à obstrução;
- ✓ Facilidade de manutenção.

### Características Gerais do Modelo Combi:

- ✓ Equipamento pequeno e compacto;
- ✓ Possibilidade de instalação em câmara húmida ou semi-seca;
- ✓ Máxima altura de enchimento até 4,00 m;
- ✓ Sem necessidade de fontes de energia externa;
- ✓ Equipamento robusto em aço inoxidável AISI 316 L;
- ✓ Descarga ajustável depois de instalado;
- ✓ Abertura automática em caso de obstrução;
- ✓ Reação rápida à obstrução;
- ✓ Facilidade de manutenção.



Figura 13 – Modelos HydroSlide FlatFlow e Combi

A experiência demonstrou que a água não gera energia suficiente para evitar a ocorrência de deposições. Os sedimentos depositados acumulam-se principalmente em coletores planos ou nos de maior diâmetro. Com o escoamento, esses sedimentos são arrastados e podem depositar-se depois em locais mais problemáticos, como em frente dos elementos de regulação de caudal. Por essa razão se tentaram explorar alternativas de equipamentos automáticos que fossem capazes de remover os sedimentos em caso de obstrução da secção de descarga (Steinhardt, 2015).

Os modelos *HydroSlide FlatFlow* e *Combi* surgem como sendo controladores de caudal robustos, projetados para serem instalados em câmaras húmida, semi-seca ou seca. Esta nova gama de equipamentos usa a pressão de água como energia para a operação e são utilizados em alturas de enchimento entre 1,50 e 4,00 m, não necessitando de uma fonte de energia externa (**Figura 14**).

São equipamentos bastante versáteis e adequados a situações em que o espaço disponível é limitado. Ambos os modelos consistem em pequenos reguladores de descarga, que, quando instalados em câmara húmida, são colocados na parede da estrutura em frente da secção de descarga e, que quando instalados em câmara semi-seca, são colocados por trás da secção de descarga.

O seu funcionamento está dependente unicamente da pressão de água, na medida em que o seu conversor de pressão é posicionado por baixo de uma cobertura de proteção e faz com que seja desnecessário qualquer tipo de equipamento flutuante.

Nestes equipamentos acontece um fenómeno denominado “*initial flush*”. Tal fenómeno tem natureza hidráulica e ocorre na fase inicial de um evento pluvioso, em que o caudal que se escoia através da secção de descarga é superior ao caudal de dimensionamento considerado. Após um determinado tempo de funcionamento, e com o aumento do nível de água, o caudal descarregado tenderá para o seu valor de dimensionamento e daí permanecendo constante (Steinhardt, 2015).

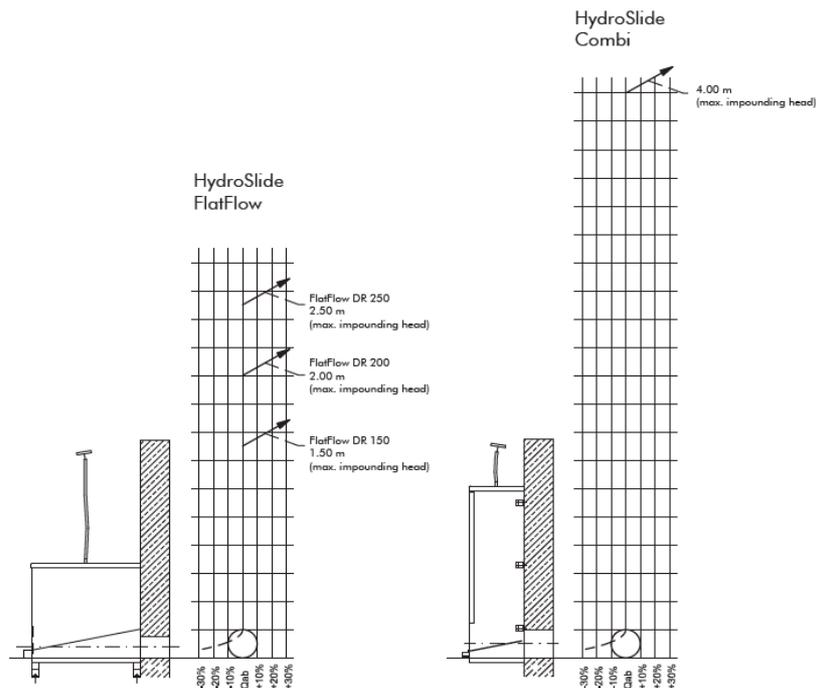


Figura 14 – Curvas características dos modelos FlatFlow e Combi

Ambos os modelos são passíveis e aconselháveis de serem aplicados nas seguintes situações:

- Antes de plantas de tratamento de águas residuais, para possibilitar uma operação otimizada, utilizando caudais afluentes definidos.
- Em sistemas de águas pluviais, para evitar fenómenos de inundação.
- Em tanques de tempestade, servindo como elementos de armazenamento intermediários.
- Em situações de melhoria do processo de tratamento em sistemas separativos.

Conforme se pode concluir da análise da **Tabela 6**, o modelo *FlatFlow* opera para três gamas de caudais, diferindo no diâmetro da secção de descarga, de 8 L/s até 60 L/s. Para ambas as gamas o material utilizado é um aço inoxidável AISI 304 ou, como opção, um aço inoxidável AISI 316. As alturas de enchimento variam até aos 2,50 m e existe a possibilidade de instalação em câmaras seca e semi-seca. Em comparação, o modelo *Combi* funciona para a mesma gama de caudais, com alturas de enchimento até 4,0 m em toda a gama e é fabricado com o aço inoxidável AISI 304 ou, alternativamente, com o AISI 316 (Steinhardt, 2015).

Tabela 6 – Características catalogadas dos modelos HydroSlide FlatFlow e Combi

HydroSlide FlatFlow	DR 150	DR 200	DR 250
Caudal (L/s)	8 a 20	21 a 35	36 a 60
Material AISI 304	standard	standard	standard
Material AISI 316	opcional	opcional	opcional
Altura de água (m)	1,50	2,00	2,50
Instalação em câmara	qualquer	qualquer	qualquer
Operação manual desde a superfície	sim	sim	sim
Desobstrução automática	sim	sim	sim
Limpeza desde a superfície	opcional	opcional	opcional

HydroSlide Combi	DR 150	DR 200	DR 250
Caudal (L/s)	8 a 25	25,1 a 35	35,1 a 60
Material AISI 304	standard	standard	standard
Material AISI 316	opcional	opcional	opcional
Altura de água (m)	4,00	4,00	4,00
Instalação em câmara	qualquer	qualquer	qualquer
Operação manual desde a superfície	sim	sim	sim
Desobstrução automática	sim	sim	sim
Limpeza desde a superfície	opcional	opcional	opcional

### Float-Controlled Penstock

#### Características Gerais do Modelo:

- ✓ Controlo de descargas e/ou limitação do nível máximo de água;
- ✓ Solução de baixo custo;
- ✓ Reduzida precisão de descarga;
- ✓ Robustez de construção em aço inoxidável AISI 304 ou 316.



Figura 15 – Modelo HydroLimiter Float-controlled Penstock

Este equipamento é destinado ao controlo de descargas ou a limitar o nível máximo de água. Apresenta-se como uma solução de baixo custo quando a precisão da descarga tem uma importância secundária e é muitas vezes utilizado como um mecanismo auxiliar dos modelos anteriores, para desempenhar uma função de controlador de uma saída de emergência. São fabricados em aço inoxidável AISI 304 ou 316 e apresentam uma grande robustez de construção (Steinhardt, 2015).

A instalação é bastante simples, não necessitando de limpeza, o que potencia a sua característica de eficiência de custos, podendo ainda ser feita em dois locais: a montante e a jusante, respetivamente para limitar a descarga máxima e o máximo nível de água. (Steinhardt, 2015).

Apresenta distintos tamanhos: M (3 DN), N (3,7 DN) e S (6,5 DN) e, dependendo do tamanho do braço selecionado em fase de projeto, pode operar com caudais dos 4 L/s até aos 400 L/s, conforme se apresenta na **Tabela 7**.

Tabela 7 - Gama de aplicação do modelo Penstock

DR	Caudal (L/s)	
	de	até
100 M	4	9
100 N	4	10
100 S	5	12
150 M	12	24
150 N	12	27
150 S	14	35
200 M	25	50
200 N	25	55
200 S	28	70
250 M	43	85
250 N	43	95
250 S	50	125
300 M	67	135
300 N	68	150
300 S	78	195
400 M	140	275
400 N	140	310
400 S	160	400

### 3.2.1.2 Modelos ALPHEUS AT, AS e AA

#### Características Gerais dos Modelos:

- ✓ Curva de descarga vertical;
- ✓ Tamanho compacto;
- ✓ Não requer fornecimento de energia elétrica;
- ✓ Mantém um caudal constante, independentemente do nível de água;
- ✓ Os mecanismos de controlo não se encontram submersos;
- ✓ Detecção e eliminação automática de obstruções;
- ✓ Possibilidade de ser instalado em todo o tipo de câmaras, recorrendo a adaptações;
- ✓ Aplicável a águas pluviais e residuais.



Figura 16 – Modelo ALPHEUS AT

Este modelo de controlador de caudal é uma solução adequada a situações em que não há energia disponível ou suficiente para o processo de controlo. O *AT* regula precisamente o caudal pré-determinado em fase de projeto, independentemente das condições a montante (Biogest, 2017). É um equipamento dimensionado para operar de forma constante, com taxas de fluxo relativamente baixas, e consiste numa unidade robusta, com uma comporta de entrada e outra de saída, com um flutuador interior (**Figura 17**).

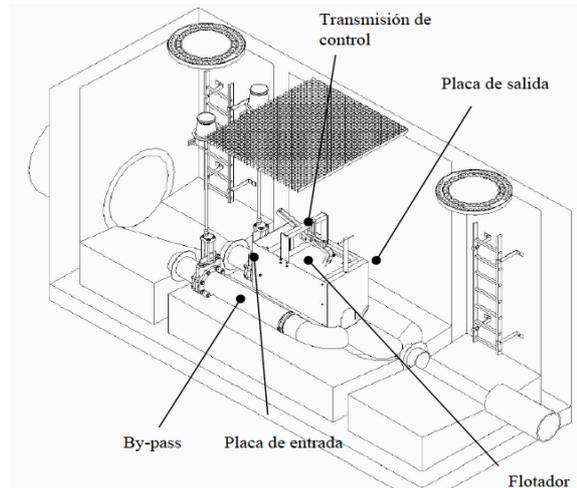


Figura 17 – Esquema dos constituintes do ALPHEUS AT (Adaptado de Biogest)

O equipamento é calibrado em fábrica, ajustando a placa de controlo de saída a uma altura pré-determinada, que permite a passagem de um caudal sem impedimentos em tempo seco.

Em tempo seco, tanto a placa de entrada como a de saída encontram-se totalmente abertas, permitindo a passagem de todo o caudal de água que chega ao equipamento. Durante um acontecimento pluvioso o nível de água aumenta, excedendo um valor determinado, e o controlador ativa-se nesse preciso momento. O flutuador move a placa de entrada, fechando-a parcialmente, mantendo um fluxo constante e ao mesmo tempo a placa de saída volta à sua posição normal (Biogest, 2017). O flutuador move-se constantemente, consoante o nível de água, o que move a placa de controlo de entrada para manter sempre um caudal constante para jusante do equipamento.

No caso da ocorrência de uma obstrução na entrada do controlador, o flutuador cai e a placa de entrada abre completamente, fazendo com que os sedimentos que causavam a obstrução sejam transportados pelo escoamento. Por outro lado, se a obstrução ocorre junto à placa de saída, o flutuador subirá até à sua posição normal, fazendo com que a placa de saída se abra completamente, eliminando a obstrução. Assegura-se assim uma desobstrução “automática” para qualquer localização de deposições. Adicionalmente, se ocorre uma obstrução no interior do equipamento, antes de chegar à placa de saída, inevitavelmente o nível de água subirá no seu interior, o que fará com que o flutuador se eleve e abra totalmente a saída, promovendo a remoção da obstrução interior (Biogest, 2017).

Conforme é perceptível através do processo de funcionamento do equipamento, o *ALPHEUS AT* é passível de ser instalado em câmara seca ou semi-seca, conforme demonstra o **Anexo A.4**

Este modelo é acompanhado da respetiva curva característica, fornecida pelo fabricante, que apresenta a possibilidade de consideração do fenómeno de “first flush” ou não (**Figura 18**).

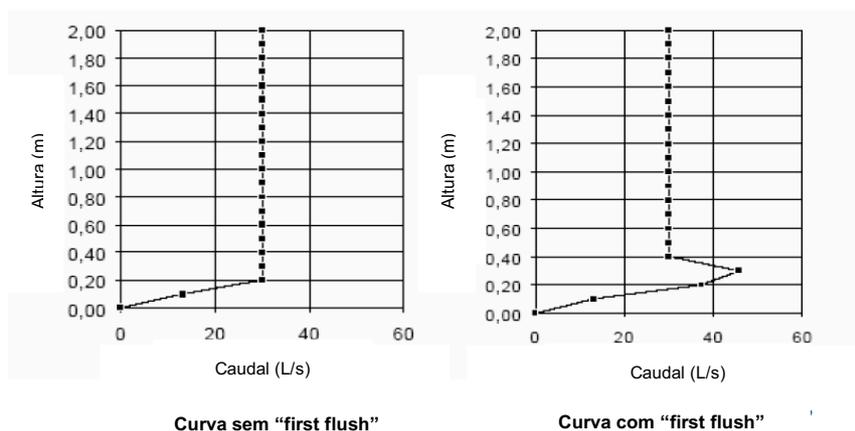


Figura 18 - Curvas características do modelo ALPHEUS AT com/sem “first flush”

O fenómeno é provocado pela existência de um curto período de tempo, durante um evento pluvioso, em que, até que o flutuador se eleve até à sua posição de regulação, circula um caudal superior ao de dimensionamento pelo interior do equipamento. A sua ocorrência tem a vantagem de arrastar possíveis sedimentos existentes, mas também tem a desvantagem de poder provocar a entrada em carga das tubagens a jusante durante esse período de tempo. Se for desejável, é possível a eliminação deste fenómeno, modificando a função do controlador em tempo seco (Biogest, 2017).

Conforme se pode observar nas curvas características do modelo, é possível a regulação do caudal desejado para alturas de água bastante pequenas, havendo a vantagem de, em qualquer momento, ser possível a passagem do caudal de dimensionamento definido em projeto.

A escolha da variante do modelo a adquirir dependerá das condições de projeto, sendo comercializado o modelo ALPHEUS AT com diferentes diâmetros nominais (**Tabela 8**).

Tabela 8 – Variantes do modelo ALPHEUS AT

DR	Caudal (L/s)		Altura de água (m)		Tipo de água		
	de	até	de	até	RW	MW	SW
100	2	10	0,55	4,00	•		
150	4	25	0,55	4,00	•		
200	6	48	0,55	4,00	•	•	
250	15	82	0,60	4,00	•	•	
300	30	128	0,65	4,00	•	•	
350	50	185	0,75	4,00	•	•	
400	80	256	0,85	4,00	•	•	
450	140	340	1,10	4,00	•	•	
500	210	438	1,10	4,00	•	•	

Pela observação das tabelas fornecidas pelo fabricante, é possível concluir que o modelo *ALPHEUS AT* cobre uma gama de caudais dos 2 L/s até aos 438 L/s, suportando uma altura máxima de água de 4,0 m, independentemente do diâmetro nominal. Todos os modelos são aplicáveis a sistemas unitários, com exceção dos DN 100 e DN 150, que, devido à sua reduzida dimensão, só devem ser utilizados em sistemas pluviais. Complementarmente, o caudal de dimensionamento pode ser alterado facilmente, variando a posição da placa de saída, o que exige uma calibração *in situ* por entidades especializadas, normalmente fornecidas pelo fabricante (Biogest, 2017).

Uma evolução do modelo *AT* é o modelo *ALPHEUS AS* (em tudo semelhante ao anterior), que apresenta em tempo seco a placa de controlo de saída totalmente aberta. Durante a ocorrência de um evento pluvioso, um flutuador interno sobe e ativa um mecanismo de controlo. O nível de água eleva-se dentro do equipamento de maneira a que o flutuador ascenda verticalmente e que, ligado à placa de entrada, mantenha constante o caudal de dimensionamento definido (Biogest, 2017).

O flutuador move-se verticalmente com o nível de água, abrindo e fechando assim a placa de orifício e mantendo o caudal de dimensionamento. À medida que o nível de água aumenta, o ar no interior é comprimido e restringe o nível de água a um valor máximo. Tal facto faz com que o flutuador não tenha de se movimentar tanto como no modelo *AT*, preconizando-se assim um equipamento de menores dimensões.

Em caso de bloqueio do sistema devido à obstrução da placa de orifício, é possível a abertura completa da mesma com um desengate manual do equipamento (Biogest, 2017).

Os modelos disponíveis abrangem uma gama de caudais dos 2 L/s até aos 2400 L/s, utilizando diâmetros nominais de DN 100 até DN 1000.

Devido à presença de águas residuais provenientes de esgotos, é possível que os modelos-padrão do limitador de caudal *ALPHEUS* sofram alguns bloqueios prejudiciais ao seu correto funcionamento. Tais bloqueios podem ser solucionados através de uma manutenção mais regular, mas com o indispensável dispêndio de tempo para tal atividade. Para além do mais, o tempo decorrido entre a ocorrência do bloqueio e a deteção do mesmo provocar danos no equipamento e mau funcionamento do sistema em situações em que se pretenda um controlo mais rigoroso. Por essa razão se desenvolveu o modelo *AA*, que faz um controlo do escoamento semelhante ao do modelo *AT*, mas que adicionalmente contém um dispositivo de tração que deteta e elimina automaticamente um bloqueio (Biogest, 2017).

O modelo *ALPHEUS AA* tem particular interesse em sistemas de drenagem unitários em que opere para caudais reduzidos, até aos 10 L/s.

Instalado na frente de um orifício de descarga de um sistema de drenagem de água residual, o caudal de descarga é limitado com precisão, independentemente do nível de água a montante, pelo limitador de caudal *AA*. Tal controlo é conseguido com a ajuda de um flutuador e tem a sua característica principal na instalação do equipamento como sendo um “sino submersível”, ou seja, aberto na sua parte inferior, mas hermeticamente fechado. Consequentemente, o ar é aprisionado dentro do equipamento e o nível de água dentro do limitador sobe menos do que o nível de água a montante, durante um acontecimento pluvioso, devido à bolsa de ar que se cria. O benefício da pressão diferencial é que o equipamento, tal como no modelo *AS*, pode ser de menores dimensões (Biogest, 2017).

Outra vantagem deste equipamento é que, devido à presença da bolsa de ar dentro do corpo do limitador de caudal, os mecanismos de controlo ficam localizados na zona de aprisionamento do ar, não estando em contacto com as águas residuais, o que evita a sua danificação e o desgaste.

As dimensões do *ALPHEUS AA* podem ser de diâmetros nominais desde DN 100 até DN 350, abrangendo uma gama de caudais dos 2 L/s até aos 185 L/s (Biogest, 2017).

### **3.2.2 Válvulas vórtice**

#### **3.2.2.1 Modelos *Cyclone Flow Regulator***

O regulador de fluxo *CY* é dimensionado para instalação em câmara húmida, existindo variantes para instalação em câmara seca. O equipamento é embutido em betão e, se for instalado perto de bacias ou em coletores de fundo plano, o efeito de autolimpeza deve ser aumentado, baixando o regulador de

fluxo de modo que o seu bordo superior fique ao mesmo nível que o escoamento de montante (Mosbaek, 2017).

Os reguladores de caudal *CY* são projetados para caudais entre 10 L/s e 600 L/s e, conforme o tipo de instalação, distinguem-se os modelos (Mosbaek, 2017):

- ✓ *CYE*, *CYO* e *CYEO* para câmara húmida;
- ✓ *CYDK*, *CYDX* e *CYDV* para câmara seca ou semi-seca.

### **Cyclone Flow Regulator *CYE*, *CYO* e *CYEO***

#### **Características Gerais dos Modelos:**

- ✓ Instalação em câmara húmida;
- ✓ Pequeno espaço ocupado;
- ✓ Orifício de passagem constantemente grande;
- ✓ Sem componentes elétricos;
- ✓ Material em aço inox AISI 316L bastante resistente;
- ✓ Baixos custos de construção, de manutenção e de operação.

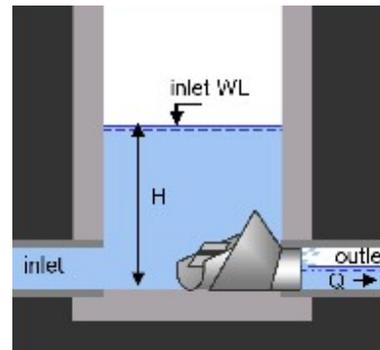


Figura 19 - Controladores vórtice *CYE*, *CYO* e *CYEO*

Os reguladores *CYE* têm uma placa de orifício de admissão ajustável, com uma margem de 25% em relação à capacidade na posição média. Este equipamento é, na verdade, o único do género disponível no mercado e que tem uma capacidade ajustável no local, após instalado. Já os reguladores *CYO* têm um alargamento de segurança no tubo de entrada, resultando daí uma melhoria considerável da fiabilidade, visto que, no caso de uma obstrução, por parte de um objeto depositado na parte inferior, o equipamento conseguirá operar através da colocação da placa de orifício na parte superior do alargamento, funcionando quase como um sistema de “*bypass* ativo” (Mosbaek, 2017).

Por combinação dos equipamentos *CYE* e *CYO* surge o *CYEO*, utilizado para situações mais adversas, em que se pretenda um funcionamento sob condições mais exigentes.

Estes equipamentos são projetados para minimizar a acumulação de sedimentos e, além disso, é relativamente fácil a lavagem da estrutura a partir do topo, bem como os serviços de manutenção.

Os componentes básicos que constituem um regulador de caudal *CY* consistem em (Mosbaek, 2017):

- **Orientação do tubo de entrada:** a orientação mais adequada dependerá da geometria de toda a estrutura, existindo a hipótese de orientar a entrada para a esquerda ou para a direita;
- **Placa de orifício de entrada ajustável:** a placa é ajustável consoante a capacidade pretendida;
- **Entrada dupla:** o regulador é equipado com uma entrada principal e com uma entrada *bypass* na parte superior do tubo de entrada;
- **Tubo de saída:** o tubo de saída pode ter um diâmetro ajustável ao coletor de descarga da estrutura.

Quanto aos componentes acessórios disponíveis, destacam-se (Mosbaek, 2017):

- **Tubo de saída com curva a 15°:** é uma solução adequada quando a distância ao orifício de entrada é pequena, resultando numa saída de fluxo mais reta;
- **Tubo de descarga:** é uma solução quando é necessária uma proteção adicional contra entupimentos;

- **Bypass “ativo”:** é utilizado para casos de acumulação de sedimentos na parte inferior do tubo de entrada e consiste numa abertura no próprio tubo a um nível mais alto do que o do orifício principal;
- **Ventilação:** no caso de o nível de água subir rapidamente, torna-se difícil para o equipamento expulsar o ar da câmara de vórtice, o que se traduz num efeito de travagem. Nesse caso, instala-se um sistema de ventilação que auxilia nessa tarefa.

As aplicações mais usuais deste tipo de equipamento são: em saídas de bacias de retenção e estruturas de armazenamento; e em entradas de elevatórias ou estações de tratamento.

### **Cyclone Flow Regulator CYDK, CYDV e CYDX**

#### **Características Gerais dos Modelos:**

- ✓ Instalação em câmara seca ou semi-seca;
- ✓ Abertura do orifício constantemente grande;
- ✓ Não necessita de componentes elétricos;
- ✓ Fabricado em aço inox AISI 316L, bastante resistente.

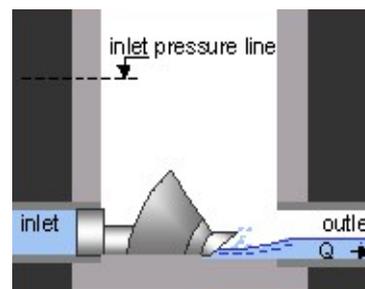


Figura 20 - Controladores vórtice CYDK, CYDV e CYDX

Os reguladores de caudal *CYD* são uma outra vertente do modelo vórtice *CY*, que são projetados para ser instalados em câmaras seca ou semi-seca. Destinam-se a todo o tipo de águas de descarga, tanto residuais domésticas como pluviais ou mistas. Diferenciam-se os diversos tipos, de acordo com o caudal de descarga previsto, tendo em conta que se utilizam as variantes (Mosbaek, 2017):

- ✓ *CYDK* para caudais de 8 a 80 L/s;
- ✓ *CYDV* para caudais de 20 a 500 L/s;
- ✓ *CYDX* para caudais de 25 a 600 L/s.

Ambos os modelos possuem uma placa de orifício de saída, que pode ser substituível, e que permite o ajuste da capacidade de descarga até 20% em relação ao seu valor médio.

A principal característica deste tipo de reguladores de fluxo é a possibilidade de serem adaptados a uma disposição específica do tubo, ou seja, a possibilidade de mudanças na sua direção. Tendo em conta esse facto, refere-se que os reguladores (Mosbaek, 2017):

- ✓ **CYDK** são indicados para um tubo de saída reto, mas também podem ser utilizados noutros casos em que haja mudança de direção;
- ✓ **CYDV** são indicados para tubos de saída a 90°, já que o regulador tem duas mudanças de direção embutidas de 45° cada uma;
- ✓ **CYDX** são indicados para tubos de saída a 45°, mas também podem desempenhar o papel dos anteriores dois modelos.

Os componentes básicos de um regulador *CYD* consistem em (Mosbaek, 2017):

- **Orientação do tubo de entrada:** a orientação mais adequada dependerá da geometria de toda a estrutura, havendo a hipótese de orientar a entrada para a esquerda ou para a direita;
- **Flange:** o regulador possui uma flange no tubo de entrada que possibilita a montagem de uma válvula entre a estrutura e o regulador;

- **Placa de fixação:** permite fixar o regulador diretamente à parede;
- **Placa de saída de orifício:** o regulador contém uma placa de saída, a qual pode de ser substituída.

Quanto aos componentes opcionais ao equipamento destacam-se (Mosbaek, 2017):

- **Cone adaptador:** no caso de uma grande diferença entre a dimensão do coletor e a do tubo de entrada, pode utilizar-se um cone como adaptador entre a flange e a placa do tubo de entrada;
- **Ventilação:** no caso de o nível de água subir rapidamente, torna-se difícil para o equipamento expulsar o ar da câmara de vórtice, o que resulta num efeito de travagem. Nesse caso instala-se um sistema de ventilação que auxilia nessa tarefa;
- **Janela e cobertura de inspeção:** para facilitar a inspeção da câmara de vórtice.

Assume particular importância o facto de o modelo *CYDK* oferecer uma maior resistência hidráulica do que os restantes modelos. Quando se verifica um aumento do caudal pluvial em tempo de chuva, o ângulo de entrada no regulador perfaz uma forte contração do jato de água, aumentando-se a resistência ao escoamento, de modo a que a abertura do orifício da placa possa ser aumentada em 10 a 25%, o que não sucede com os restantes modelos (Mosbaek, 2017).

Quanto à montagem dos equipamentos, ela é feita numa câmara seca à entrada. É exigida uma perda de altura considerável para que o escoamento se realize quase horizontalmente. Para além do mais, a instalação em câmara seca facilita bastante as operações de manutenção e de inspeção.

No caso de que o regulador esteja instalado no seguimento de um coletor de fundo plano, ou na saída de uma bacia de retenção, é desejável obter-se uma perda de altura de 5 a 10 cm, para assegurar a suficiente autolimpeza do equipamento (Mosbaek, 2017).

### ***Cyclone Flow Regulator CEV***

#### **Características Gerais do Modelo:**

- ✓ Instalação em câmara húmida;
- ✓ Efeito estrangulador quando instalado na posição normal;
- ✓ Bloqueio quando girado 180° em torno do eixo vertical, o que é vantajoso em caso de acidente;
- ✓ Possui um *bypass* para salvaguardar os processos de desmontagem e de substituição.

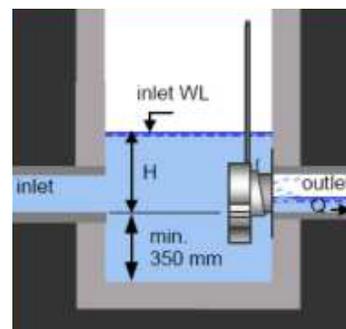


Figura 21 - Controlador vórtice CEV

Os reguladores de caudal *CEV* operam em caudais de 0,2 L/s a 80 L/s e são dimensionados para volumes de água moderados, principalmente para águas pluviais. São projetados para instalação em câmara húmida e somente requerem um poço com uma profundidade de pelo menos 350 mm.

A capacidade de descarga é ajustável por meio de uma placa de entrada, podendo a abertura ser ajustável até 20% da sua capacidade em relação ao valor médio. Além disso, a saída contém um orifício que pode ser substituído para ajuste da capacidade (Mosbaek, 2017).

Este equipamento contém uma ligação em cunha e uma haste de elevação que facilita as suas instalação e desmontagem ao nível do solo. Consequentemente, as inspeções e substituições de equipamentos tornam-se facilitadas. É um modelo único no mercado, o qual pode ser ajustado no local, sem o uso de peças de substituição (Mosbaek, 2017).

Existem cerca de 70 modelos diferentes de reguladores *CEV*, o que significa que as características ideais podem ser obtidas para quase todos os casos propostos. A configuração detalhada da entrada do regulador resulta numa forte contração do jato de água que origina um efeito de travagem na ordem dos 25%.

Os componentes principais de um regulador de caudal *CEV* consistem em (Mosbaek, 2017):

- **Tubo de entrada:** faz a ligação entre a estrutura e o regulador de caudal;
- **Placa de montagem:** para fixação do regulador à parede.

Quanto aos componentes acessórios, referem-se os seguintes (Mosbaek, 2017):

- **Pinça e acoplamento em cunha:** para facilitar a instalação e a desmontagem;
- **Haste de elevação:** permite elevar o regulador até ao cimo do poço;
- **Orifício de saída substituível:** orifício com ajuste de capacidade ao ser substituído;
- **Tudo de saída:** caso seja necessária uma proteção adicional contra o entupimento;
- **Bypass:** como alternativa ao acoplamento em cunha e à pinça;
- **Ventilação:** auxilia na tarefa de expulsar o ar aprisionado na câmara de vórtice.

As vantagens da utilização deste modelo traduzem-se em baixos custos de operação e de manutenção, bem como em baixos custos de instalação, visto que pode ser instalado em poços já existentes, sendo que as suas aplicações usuais são para o armazenamento temporário de água no sistema de drenagem e na drenagem de águas pluviais provenientes de coberturas (Mosbaek, 2017).

### ***Cyclone Flow Regulator CEH***

#### **Características Gerais do Modelo:**

- ✓ Instalação em câmaras seca ou semi-seca;
- ✓ Abertura do orifício constantemente grande;
- ✓ Não necessita de componentes elétricos;
- ✓ Fabricado em aço inox AISI 316L bastante resistente.

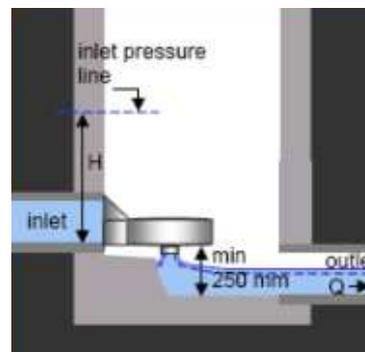


Figura 22 - Controlador vórtice CEH

Os reguladores de caudal *CEH* operam com caudais entre 4 L/s e 30 L/s e são de instalação em câmaras seca ou semi-seca. Estão destinados tanto a águas residuais como a águas pluviais (Mosbaek, 2017).

Todos os equipamentos *CEH* têm uma placa de orifício de saída que, sendo substituída, permite o ajuste da capacidade em 20% em relação ao seu valor médio. A sua principal característica é o efeito de travagem bastante acentuado, o que permite controlar pequenos volumes de águas residuais.

De um modo geral, os reguladores de caudal *CEH* oferecem resistência hidráulica, devido à câmara de cascata e à câmara de vórtice. Quando o regulador está a operar, a câmara de cascata da entrada provoca uma forte contração do jato de água, que tem como resultado o aumento da resistência ao escoamento (Mosbaek, 2017).

Quanto à instalação destes equipamentos, a diferença de altura entre a entrada e a parte inferior deve ser de pelo menos 250 mm. Também se deve ter em conta no seu dimensionamento a otimização de geometrias, para facilitar os processos de inspeção ou de manutenção (Mosbaek, 2017).

Existem alguns modelos diferentes de *CEH*, em função das dimensões da câmara de vórtice, da espessura interna e da abertura da saída, recorrendo-se a adaptações para se ajustar a cada projeto.

Os componentes deste tipo de regulador são (Mosbaek, 2017):

- **Direção da abertura de entrada:** a entrada é reta e a saída é vertical, o que torna possível orientar a saída em qualquer direção, ajustando-se a entrada;
- **Dobradiça:** o equipamento é fixo à parede da estrutura por meio de uma charneira;
- **Placa de orifício de saída substituível.**

Por sua vez, os componentes acessórios mais usuais são (Mosbaek, 2017):

- **Cone adaptador:** no caso de uma grande diferença entre a dimensão do coletor e o tubo de entrada, pode utilizar-se um cone, como adaptador entre a placa e o tubo de entrada;
- **Cobertura de inspeção:** para facilitar a inspeção da câmara de vórtice.

As aplicações mais comuns deste tipo de reguladores de caudal verificam-se em saídas de bacias de retenção e estruturas de amortecimento de cheias, assim como em entradas de elevatórias e de estações de tratamento (Mosbaek, 2017).

### **Double Orifice Plate DB**

#### **Características Gerais do Modelo:**

- ✓ Instalação em câmara húmida;
- ✓ escoamento reto;
- ✓ Abertura do orifício constantemente grande;
- ✓ Sem necessidade de componentes elétricos;
- ✓ Fabricado em aço inox AISI 316L bastante resistente.

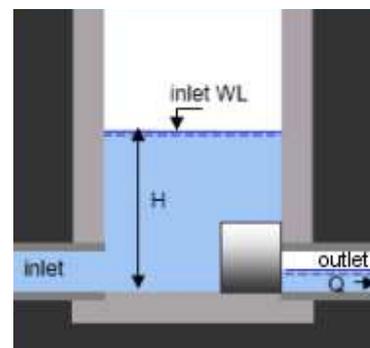


Figura 23 – Controlador DB

Os reguladores de caudal *DB* estão disponíveis para operar com caudais entre 30 L/s e 10.000 L/s, sendo dimensionados para instalação em câmara húmida e para todo o tipo de águas (Mosbaek, 2017).

A característica principal do *DB* é ser capaz de controlar grandes volumes de água. É ideal em situações em que o volume de descarga necessário é tão grande que a solução recorrendo a uma câmara de vórtice teria um tamanho excessivo (Mosbaek, 2017).

O equipamento tem placas de orifício infinitamente reguláveis, as quais podem ser ajustadas para um aumento de capacidade de 25% em relação ao seu valor médio. A capacidade pode ser alterada no local sem ter de ser substituído qualquer componente do regulador, bastando ajustar a placa de orifício.

A placa de orifício de entrada encontra-se inclinada, seguindo a direção do escoamento, o que faz com que a água se mova até que o nível de água atinja um certo nível das paredes do regulador, quando a placa de orifício de saída começa a funcionar. Por outro lado, a placa de orifício de saída

está inclinada contra a direção de escoamento, o que provoca uma contração do jato de água de saída e, com isso, um aumento considerável do efeito de travagem (Mosbaek, 2017).

A geometria de todo o equipamento faz com que a acumulação de sedimentos seja reduzida ao mínimo, porque a água é direcionada para o regulador. Além disso, a lavagem do equipamento é feita de forma simples a partir da superfície.

De acordo com a grande vantagem que o regulador de caudal *DB* apresenta, este equipamento ocupa muito pouco espaço e pode ser instalado em obras já existentes.

O equipamento básico que constitui este modelo consiste em (Mosbaek, 2017):

- **Direção da abertura de entrada:** a entrada tem sempre fluxo reto;
- **Placas de orifício de entrada e de saída ajustáveis;**
- **Placa de montagem ou tubo de saída:** com diâmetro adequado à saída da estrutura.

Quanto ao equipamento opcional, destacam-se (Mosbaek, 2017):

- **Tubo de descarga:** para proteção adicional contra entupimento;
- **Bypass:** para permitir a descarga em caso de manutenção.

As aplicações deste equipamento são inúmeras, sendo as mais usuais em saídas de bacias de retenção e de estruturas de amortecimento de cheias e em entradas de ETAR (Mosbaek, 2017).

### 3.2.2.2 Modelos *Vórtex WAB*

#### *Vórtex WAB UCY*

##### Características Gerais do Modelo:

- ✓ Instalação em câmara húmida;
- ✓ Obtenção de um caudal constante;
- ✓ Sem componentes elétricos;
- ✓ Material em aço inox AISI 316L bastante resistente;
- ✓ Baixos custos de construção, de manutenção e de operação.



Figura 24 – Regulador vórtice UCY

O controlador de caudal *UCY* é uma unidade de instalação em câmara húmida, o que faz com que não seja necessária a construção de uma câmara própria para a sua instalação. No entanto, para que seja possível esvaziar-se a câmara em caso de acidente ou de manutenção, deve ser preconizada uma saída de emergência que permita o desvio do escoamento, para que seja possível aceder ao equipamento (Biogest, 2017).

O processo de funcionamento da válvula *UCY* é bastante simples e consiste no princípio básico de funcionamento de um controlador do tipo vórtice, ou seja, num estrangulamento mediante a criação de um vórtice, devido a uma transformação de energia, o qual fará com que se obtenha um caudal constante pré-definido. A água afluí tangencialmente ao equipamento, sendo que, para baixos caudais, não se dá praticamente nenhuma resistência ao fluxo de água (Biogest, 2017).

À medida que o caudal aumenta, a velocidade tangencial dentro do controlador aumenta também e provoca a formação de um núcleo de vórtice composto por ar. Esse vórtice tem um efeito de rutura, sem obstruir a abertura do equipamento e, portanto, garante uma capacidade máxima pré-definida.

Os tamanhos nominais das válvulas UCY são selecionados de acordo com os valores de caudal e de altura de água definidos em fase de projeto e recorrendo às curvas características dos equipamentos fornecidas pelo fabricante.

### **Vórtex WAB CE/V**

#### **Características Gerais do Modelo:**

- ✓ Instalação em câmara húmida;
- ✓ Obtenção de um caudal constante;
- ✓ Indicado para águas pluviais;
- ✓ Sem componentes elétricos;
- ✓ Material em aço inox AISI 316L bastante resistente;
- ✓ Baixos custos de construção, de manutenção e de operação.



Figura 25 – Regulador vórtice CE/V

À semelhança do controlador UCY, o CEV também é um equipamento de instalação em câmara húmida, que necessita da existência de uma saída de emergência complementar que permita o desvio do escoamento para acesso ao equipamento em caso de acidente ou de manutenção (Biogest, 2017).

O modelo vórtice CEV consiste num corpo cónico vertical em aço inoxidável e é particularmente indicado para a limitação de águas pluviais. Este equipamento é acoplado a uma chapa que, por sua vez, é fixada à parede de betão da câmara. Adicionalmente é instalada uma haste, a qual permite puxar o dispositivo para a superfície, a fim de se proceder à sua verificação e à sua manutenção, sobretudo para remover qualquer tipo de bloqueio que possa ocorrer (Biogest, 2017).

O seu processo de funcionamento é muito semelhante ao do modelo anterior, sendo que, recorrendo ao princípio da transformação de energia mediante a formação de um vórtice, é fixada uma taxa de caudal máxima. A entrada no controlador é tangencial à direção do fluxo e a saída é na direção do fluxo para jusante do sistema. Como a saída está localizada acima da entrada, acontece que a entrada é normalmente submersa, o que conduz a uma permanente obstrução da mesma (Biogest, 2017).

Durante um acontecimento pluvioso, e com o aumento do nível de água, a saída do ar faz com que comece a formar-se o vórtice, que irá ter um efeito de rutura, sem obstruir fisicamente a abertura do equipamento, garantindo a capacidade máxima pré-definida.

### **Vórtex WAB CY-F**

#### **Características Gerais do Modelo:**

- ✓ Instalação em câmara semi-seca;
- ✓ Obtenção de um caudal constante;
- ✓ Sem componentes elétricos;
- ✓ Material em aço inox AISI 316L bastante resistente;
- ✓ Baixos custos de construção, de manutenção e de operação.



Figura 26 - Regulador vórtice CY-F

O controlador de caudal *CY-F* é de instalação em câmara semi-seca, o que necessariamente obriga à sua instalação numa câmara separada. O equipamento consiste numa entrada com conexão em flange a um corpo cónico em aço inoxidável e numa saída livre (Biogest, 2017).

O seu funcionamento é análogo ao do modelo *UCY* em câmara húmida e consiste na afluência tangencial da água à entrada do equipamento, sendo que, para baixos caudais, não existe praticamente resistência ao escoamento. À medida que o fluxo de água aumenta, a velocidade tangencial dentro da válvula conduz à formação de um núcleo de vórtice, que tem um efeito de rutura, sem obstruir fisicamente a entrada do equipamento, o que garante a capacidade máxima pré-definida em projeto.

O diâmetro de saída deve ser suficientemente grande para que o fluxo se processe de forma constante; caso contrário, poderá ocorrer refluxo da água para o interior da válvula, afetando o normal funcionamento do processo de transformação de energia. A conexão da entrada da válvula à parede da câmara deve ser feita recorrendo a peças próprias disponibilizadas pelo fabricante, sendo o betão aplicado após a instalação do equipamento (Biogest, 2017).

### 3.2.3 Válvulas elétricas e eletrónicas

#### 3.2.3.1 Modelos *ElectroSlide* e *EasySlide*

##### Características Gerais dos Modelos:

- ✓ Obtenção de uma descarga exata de caudal variável;
- ✓ Regulador económico;
- ✓ Remoção automática de obstruções;
- ✓ Necessidade de fornecimento elétrico.

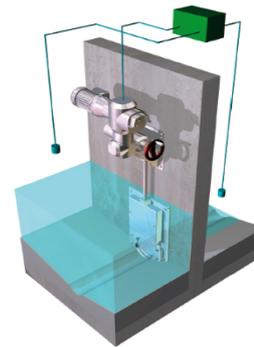


Figura 27 – Modelo *ElectroSlide*

O *ElectroSlide* é um modelo de regulador de caudal operacionalmente simples, sendo também económico. O equipamento é constituído por diferentes peças: o medidor de nível, o quadro de controlo, um atuador em consola, válvulas de guilhotina e um controlo de obstrução (Steinhardt, 2015).

A partir do nível de água de montante, o mecanismo de controlo da válvula analisa, de forma muito precisa, qual a secção de descarga necessária para um determinado caudal pré-estabelecido. A altura de enchimento a montante é detetada por um medidor de nível e o controlador posiciona a válvula de acordo com a descarga pretendida (Steinhardt, 2015).

A descarga pode ser ajustada localmente ou através de um sistema de controlo remoto, caso se contemple a sua instalação. O controlo de obstrução tem a função de verificar se a descarga da válvula se processa da forma expectável ou se poderá estar bloqueada. Progressivamente dá-se a abertura da válvula, por ação do controlador, a partir do momento em que ocorre uma obstrução à sua frente, diminuindo a descarga (Steinhardt, 2015).

Para remover as obstruções existem três tipos automáticos de “*flushing*” (Steinhardt, 2015):

➤ **Flushing em tempo seco**, em que a válvula do regulador se abre completamente depois de se acumular água até se atingir uma certa altura, criando-se um efeito de arrastamento dos sedimentos que obturem a descarga;

➤ **Flushing com água pluvial inicial**;

➤ **Flushing depois da passagem de águas pluviais**.

Existem diversas variantes do modelo, com DN que variam entre 150 e 1.000 mm, e abrangem uma gama de caudais dos 5 L/s aos 3.500 L/s.

Por sua vez, o modelo *EasySlide* é uma versão mais simples do *ElectroSlide*, apresentando exatamente a mesma metodologia de funcionamento e é aplicável a uma gama de caudais dos 15 L/s aos 3.500 L/s, mas com um mecanismo de descarga ligeiramente diferente, o qual permite a sua adaptação a espaços mais reduzidos. É, por isso, uma solução válida quando surgem constrangimentos na implementação do equipamento de maiores dimensões (Steinhardt, 2015).

Sendo equipamentos eletrónicos, apresentam melhores potencialidades face aos anteriores modelos analisados, mas, a nível de vantagens de utilização destes modelos, pouco acrescentam, destacando-se vantagens como: a facilidade de operação, a calibração efetuada localmente, o controlo de uma descarga constante, a deteção automática de obstruções com flush automático para desobstrução e os baixos custos de manutenção (Steinhardt, 2015).

### 3.2.3.2 Modelos **EGAR** e **EGAR-LC**

#### Características Gerais do Modelo:

- Possibilidade de instalação em câmara seca, semi-seca ou húmida;
- Não apresenta perdas de carga;
- Caudal constante independentemente da altura de água a montante;
- Possibilidade de calibração *in situ*;
- Necessidade de fornecimento elétrico;
- Facilidade de manutenção.



Figura 28 – Controlador elétrico EGAR

O princípio de funcionamento do controlador elétrico *EGAR* é bastante simples, sendo que, em tempo seco, a sua secção está totalmente disponível. Durante acontecimentos pluviosos o nível de água aumenta até exceder um limite definido. Nesse instante dá-se o acionamento elétrico de um mecanismo que fecha o controlador até uma posição que corresponda ao nível de água desejado (Biogest, 2017).

O sistema de controlo elétrico compara constantemente o nível de água medido com a taxa de fluxo de passagem programada e o processo de regulação continua até que o nível de água volte a ser mais baixo do que o limite atingido. Quando, finalmente, o nível de água se encontrar abaixo do limite, o componente eletrónico fará com que a secção do controlador volte a estar totalmente disponível (Biogest, 2017).

Se, por algum motivo, durante este processo ocorrer um bloqueio, existirá uma atuação automática do componente eletrónico que abrirá completamente o controlador, induzindo um aumento instantâneo do escoamento, que desobstruirá a secção. Seguidamente irá fechar-se de novo o orifício de passagem até à posição definida (Biogest, 2017).

Este modelo é fabricado para diâmetros nominais de DN 100 até DN 1000 e é passível de ser utilizado para uma variada gama de caudais, dos 2 L/s aos 2.400 L/s.

**Características Gerais do Modelo:**

- Equipamento fiável e económico;
- Possibilidade de ajuste de fluxo depois de instalado;
- Fácil manutenção;
- Operacionalmente simples em tempo seco;
- Possibilidade de instalação em câmaras seca, semi-seca e húmida;
- Necessidade de fornecimento elétrico;
- Possibilidade de instalação de controlo remoto à distância.



Figura 29 - Controlador elétrico EGAR-LC

O modelo *EGAR – LC* é um sistema elétrico de sensor por ultrassom, que monitoriza constantemente o nível de água a montante dos sistemas onde são inseridos. Tal como o controlador *EGAR*, as suas principais aplicações fazem-se em tanques de retenção de água e em redes de drenagem.

De forma simplificada, o princípio de funcionamento deste controlador elétrico baseia-se na medição contínua do nível de água a montante, sendo que durante um acontecimento pluvioso, quando o nível de água superar um valor pré-determinado, o sistema de controlo ativa-se automaticamente e o orifício de passagem do escoamento fechar-se-á até corresponder ao fluxo de água pretendido, de acordo com o nível de água determinado. Com o crescimento do nível de água, a placa de orifício ajusta-se constantemente e assegura um caudal constante para jusante (Biogest, 2017).

A fim de remover possíveis bloqueios, este equipamento difere do anterior, na medida em que não deteta, por si só, as obstruções, mas que preventivamente ativa a abertura da placa de orifício durante breves intervalos de tempo pré-definidos, voltando imediatamente à sua posição de controlo (Biogest, 2017).

Sempre que a altura de água desça abaixo do limite mínimo definido em projeto, a placa de orifício abre-se totalmente, não se procedendo a nenhum controlo do caudal, situação que é usual em tempo seco. Sendo assim, tal equipamento é regido por uma curva de vazão, a qual é ajustável, para se adequar às exigências do sistema, podendo calibrar-se a qualquer momento a altura de água que corresponde ao nível de início de controlo do escoamento.

Este modelo apresenta três variantes (Biogest, 2017):

- ✓ *EGAR – LC –N*, para instalação em câmara húmida;
- ✓ *EGAR – LC –HT*, para instalação em câmara semi-seca;
- ✓ *EGAR – LC –T*, para instalação em câmara seca.

### **3.3 Critérios de dimensionamento dos modelos disponíveis**

#### **3.3.1 Aspectos introdutórios**

O dimensionamento das câmaras de instalação dos equipamentos bem como dos sistemas de *bypass* e descarga do excesso pluvial dependem muito do tipo de equipamento a instalar, que, por sua vez, depende das condicionantes de projeto no que diz respeito ao caudal afluyente e à altura de água a montante, mas também do tipo de instalação preconizada. Assim sendo, em âmbito de projeto apenas se podem clarificar algumas recomendações de dimensões a respeitar e também de boas práticas de construção, que facilitarão o bom funcionamento do equipamento.

Desde já se identificam os principais elementos que requerem especial atenção durante a fase de projeto - a câmara de instalação do regulador e o poço de grossos que a antecede. É de referir que, quando a instalação é em câmara húmida, os critérios de dimensionamento são mais simples, pois, devido ao facto de todo o procedimento de regulação de caudal se processar na câmara central, não é necessária a construção de uma câmara seca, nem de se assegurar uma conexão completamente isolada entre a entrada e a saída do regulador e o coletor. Ao dimensionamento correto da câmara central junta-se a necessidade de um bom dimensionamento da câmara de retenção e do poço de grossos que potencie a mínima afeção de sedimentos ao controlador.

Assim sendo, particularizam-se em seguida os critérios de dimensionamento mais relevantes da câmara central para os principais equipamentos de instalação em câmara húmida, por ser a opção normalmente mais utilizada, por ser mais simples e económica, fazendo-se também referência a algumas boas práticas de construção a considerar, tanto para os casos de instalação em câmara húmida como para os casos, mais complexos, em câmaras seca ou semi-seca.

#### **3.3.2 Válvulas de flutuador**

##### **3.3.2.1 Considerações iniciais**

Um cuidado a ter na instalação de um regulador de caudal do tipo flutuador em câmara seca é o correto dimensionamento do coletor de saída, garantindo que todo o caudal descarregado é encaminhado para jusante, sem haver a possibilidade de inundação da câmara, dependendo muito das características de cada projeto, mas sendo necessário ter sempre bem presente essa necessidade.

O caudal a regular está diretamente relacionado com a diferença de cotas entre a soleira da parte inferior da válvula e o coletor, sendo que genericamente se deve considerar uma diferença mínima de 60 a 70 mm para caudais inferiores a 180 L/s e de 80 a 90 mm para caudais superiores a 440 L/s.

É adicionalmente necessária uma diferença de cotas, entre a entrada da câmara central e a válvula, de cerca de 250 mm e que a saída do *bypass* seja a uma cota mais elevada do que a parte superior da válvula, para que o seu funcionamento seja possível (Matias, *et al*).

Atendendo às dimensões em planta, e visto que este tipo de equipamento é de maior dimensão do que os reguladores do tipo vórtice, devem respeitar-se como valores mínimos da câmara da válvula cerca de 2x2 m<sup>2</sup>, visto que essas dimensões estão muito relacionadas com o tipo de equipamento instalado, com os acessos de manutenção necessários e com as características de cada projeto.

Procedendo-se à instalação do equipamento em qualquer que seja o tipo de câmara, deve ter-se especial atenção ao facto de a tampa de acesso desde a superfície deve ter dimensões que permitam o manuseamento do equipamento e dos processos de manutenção (Matias, *et al*).

De seguida, particularizam-se, para alguns dos equipamentos presentes em mercado, e já abordados anteriormente, os critérios específicos de dimensionamento a ter em atenção em fase de projeto, pretendendo servir como uma primeira ajuda aos projetistas.

### 3.3.2.2 Modelos *HydroSlide MINI, VM, VN, VS* e *Giehlmatic*

Para a instalação de um regulador do tipo *HydroSlide MINI, VM, VN, VS* ou *Giehlmatic* é indispensável o cumprimento de algumas dimensões da câmara onde se encontrará o equipamento, de acordo com o DR considerado.

Desta forma, as dimensões mínimas da câmara onde será instalada a válvula dependem da variante de DR escolhida em projeto, apresentando-se no **Anexo A.1**, os esquemas de instalação de cada um dos modelos e apresentando-se na **Tabela 9** as dimensões mínimas a considerar em cada modelo (Steinhardt, 2015).

Tabela 9 - Dimensões mínimas da câmara de instalação dos modelos MINI, VM, VN, VS e Giehlmatic

Modelo	Dimensões mínimas da câmara de instalação													
	Com abertura lateral							Com abertura frontal						
	H*	E	X	Y	P	R	L	H*	E	X	Y	P	R	L
MINI	3,5 DR	2,5 DR	2,25 DR	2,25 DR	2,0 DR		1,25 m							
VM								3,5 DR	3,25 DR	2,0 DR	2,0 DR	2,0 DR		3,65 DR
VN	6,5 DR	5,05 DR	2,0 DR	3,5 DR	3,5 DR		1,25 m	7,0 DR	5,05 DR	2,0 DR	2,0 DR	3,5 DR		4,8 DR
VS	12,0 DR	7,75 DR	2,0 DR	6,0 DR	6,25 DR	6,0 DR	1,25 m	12,0 DR	7,75 DR	2,0 DR	2,0 DR	6,25 DR		7,50 DR
GM	No esquema							No esquema						

\* Para alturas de enchimento inferiores a H, a altura do eixo pode ser reduzida até ao nível de água previsto, acrescido de 0,5 DR para acomodar o flutuador, mas nunca sendo inferior a E.

### 3.3.2.3 Modelos *HydroSlide Combi* e *FlatFlow*

No caso destes dois modelos, que são basicamente um caixote dentro do qual os constituintes mecânicos operam, as dimensões da câmara de instalação são bastante variáveis, tendo de conseguir acomodar o equipamento, salvaguardando a necessidade de intervenções desde a superfície.

Por esse motivo, apenas se indica no **Anexo A.3** a principal forma de disposição das câmaras de instalação, consoante se pretenda uma instalação em câmara húmida ou semi-seca (Steinhardt, 2015).

### 3.3.2.4 Modelos *ALPHEUS*

Para os modelos mecânicos ALPHEUS, particularizando o equipamento AT, que é o mais robusto dos três tipos disponíveis, as dimensões a considerar para a câmara onde será instalado o equipamento dependem, mais uma vez, do DN preconizado em projeto (**Tabela 10**), embora apresentem algumas diferenças, caso se contemple a instalação em câmara húmida ou seca/semi-seca, sendo porém diferenças pouco relevantes (Biogest, 2017).

Tabela 10 - Dimensões mínimas da câmara de instalação do modelo ALPHEUS AT

Dimensões mínimas da câmara (em mm)									
DN	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Q (L/s)	2-10	4-26	6-48	15-82	30-128	50-185	80-256	130-340	210-438
A <sup>1</sup>	2000	2000	2000	2200	2500	2800	3000	3200	3200
B <sup>2</sup>	1800	1800	1800	1950	2100	2150	2200	2450	2450
C	590	590	590	640	690	700	800	930	930
D	400	400	400	450	500	550	600	650	650
E	600	600	600	600	700	700	700	800	800
F	800	800	800	900	900	900	900	1000	1000
G	200	200	200	200	250	250	250	300	300
H	>1700	>1700	>1700	>1800	>1800	>1900	>1900	>2000	>2000
J	1500	1500	1500	1600	1700	1700	2200	2200	2300
K	150	200	200	250	300	350	400	400	400
H3	60	60	60	60	70	70	80	80	90

<sup>1</sup> A longitude da câmara deve permitir a circulação em volta do equipamento.

<sup>2</sup> A largura da câmara deve permitir a circulação em volta do equipamento.

Adicionalmente, apresenta-se no **Anexo A.2** a forma de conceção da câmara de instalação do modelo *ALPEHUS AT*.

### 3.3.3 Válvulas vórtice

#### 3.3.3.1 Considerações iniciais

Tal como para os modelos do tipo flutuador, um cuidado necessário à instalação de uma válvula do tipo vórtice em câmara seca é o correto dimensionamento do coletor de saída. Assim sendo, a água residual deve ser transportada por uma estrutura em forma de meia cana, usualmente em betão, e a diferença de cotas entre a soleira da descarga da válvula e do coletor deve depender do caudal a regular, sendo que, de forma indicativa se deve ter uma diferença de cotas de 100 a 160 mm para caudais inferiores a 60 L/s e até aos 400 mm para caudais até aos 800 L/s (Matias, *et al*).

Também é fundamental assegurar-se uma diferença de cotas entre a câmara central do equipamento e a válvula de 0,15 a 0,30 m, e que, para além do mais, a saída para o *bypass* tenha uma cota mais elevada do que a parte superior da válvula (Matias, *et al*).

Quanto às dimensões das câmaras do equipamento, em particular da câmara que contém a válvula, elas dependem bastante do caudal a regular e do modelo de regulador a adotar, mas, recomendavelmente, a câmara deverá ter dimensões de 1,5x1,5 m<sup>2</sup> em planta.

Durante a fase de projeto, algumas das condicionantes prendem-se com o estabelecimento das relações entre as cotas "A", "B" e "C" (**Figura 30**) (Matias, *et al*).

A diferença entre "A" e "C" deve ser tal, que garanta que é desviado o caudal de dimensionamento da válvula, assim como que entre os pontos "B" e "C" se deve assegurar uma boa relação de cotas, que não afunde em demasia o coletor a jusante. No caso de se tratar de uma zona com influência das marés, é relevante ter em consideração a diferença entre o nível máximo da maré e a cota A, de forma a que a entrada de caudal proveniente do meio recetor no sistema não aconteça (Matias, *et al*).

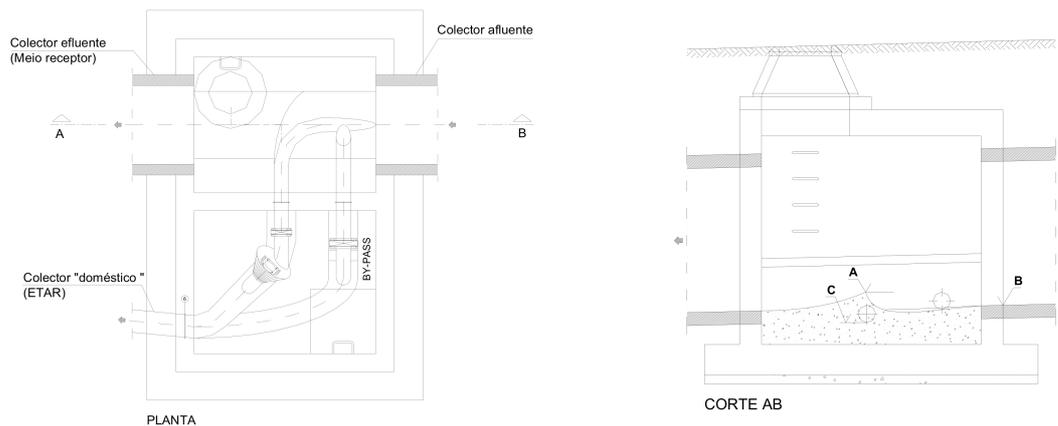


Figura 30 - Dimensões típicas da câmara de instalação de um regulador vórtice (Adaptado de Matias *et al.*)

### 3.3.3.2 Modelos Vórtex WAB CEIV

Somente de interesse particular é realçar que, aquando da sua instalação deve ser considerada, abaixo da válvula, uma altura de pelo menos a mesma dimensão que a da abertura de saída, de forma a não perturbar o fenómeno de criação do vórtice, nem conduzir à obstrução da entrada por sedimentos que se possam depositar em períodos em que a tensão de arrastamento seja reduzida (Biogest, 2017).

### 3.3.3.3 Modelos Vórtex WAB CY-F

O diâmetro de saída deve ser suficientemente grande para que o fluxo se processe de forma constante; caso contrário, poderá ocorrer refluxo da água para o interior da válvula, afetando o normal funcionamento do processo de transformação de energia. A conexão da entrada da válvula à parede da câmara deve ser feita recorrendo a peças próprias disponibilizadas pelo fabricante e o betão ser aplicado após a instalação do equipamento (Biogest, 2017).

### 3.3.3.4 Modelos Cyclone regulator CYE, CYO, CYEO e CEV

Para estes modelos do tipo vórtice, de instalação em câmara húmida, não há uma especificidade típica das câmaras centrais, sendo que, no critério de projeto, se deve simplesmente considerar a instalação do regulador encastrado à base da câmara (no caso dos modelos CY), ou com uma dimensão mínima, desde o fundo da câmara até à parte inferior da seção do equipamento, de 350 mm, no caso do modelo CEV (Biogest, 2017), e ter uma dimensão tal que acomode o equipamento, tendo em conta a altura de água a montante calculada nas três fases de funcionamento (**Figura 31**), à qual se deve acrescentar uma dimensão tal que torne o mais seguros possível o processo de controlo e as devidas manutenções e inspeções.

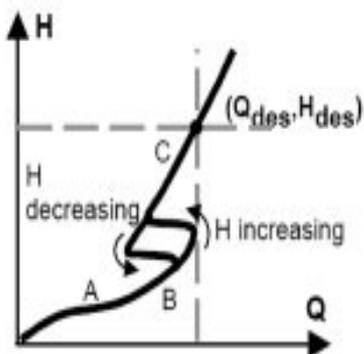


Figura 31 – Fases de funcionamento de modelos Cyclone CY e CEV (Mosbaek, 2017):

- A – Nível de água abaixo da entrada do coletor de saída;
- B – Nível de água entre o coletor de saída e o topo do controlador;
- C – Nível de água acima do topo do controlador.

### 3.3.4 Válvulas Elétricas e Eletrônicas

#### 3.3.4.1 Modelos *ElectroSlide*

O modelo *ElectroSlide*, bem como o seu semelhante mais simples - *EasySlide* -, são de uma conceção muito mais elaborada a nível de dimensões de instalação, sendo que, tal como nos modelos *HydroSlide*, são em tudo dependentes do DR escolhido em projeto (Steinhardt, 2015). Sendo assim, também se apresentam as dimensões da câmara a considerar em projeto, assim como uma das principais formas de conceção da câmara (**Anexo A.3**).

Tabela 11 - Dimensões mínimas da câmara de instalação do modelo *ElectroSlide*

Dimensões mínimas da câmara (em mm)										
DN	Caudal (L/s)	B	H	T	M	N	L	B1	B2	D (Ø)
150	5 a 20	350	690	75	410	990	345	265	250	625
200	15 a 40	350	690	75	410	990	345	265	250	625
250	35 a 65	400	780	75	410	990	345	265	250	625
300	50 a 105	430	880	85	410	990	345	265	250	625
400	90 a 220	580	1080	85	410	930	355	285	255	625
500	200 a 370	680	1300	85	410	930	355	285	255	800
600	350 a 590	740	1500	85	420	945	435	385	325	800
700	550 a 860	880	1700	100	420	940	435	385	330	1000
800	850 a 1200	990	1900	100	420	940	435	385	330	---
900	1000 a 1700	1100	2250	145	385	1200	570	436	355	---
1000	1300 a 2250	1260	2520	145	385	1200	570	436	355	---

A válvula de guilhotina pode ser ligada a montante ou a jusante; no caso de uso a jusante exige-se uma primeira abordagem, devido à transmissão de carga na parede onde se executa a sua instalação (Steinhardt, 2015).

# **EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO E MONITORIZAÇÃO**

---

### **4.1 Aspetos introdutórios**

Os processos de medição de variáveis hidráulicas e consequente monitorização de uma rede de drenagem urbana podem revelar-se bastante complexos devido à grande variabilidade das variáveis intervenientes tais como: a distribuição temporal e espacial da precipitação, a própria organização e planificação do espaço urbano e também o tipo de rede de drenagem que se pretende monitorizar. Para além do mais, as próprias características do fluído a quantificar e o regime em que se processa o escoamento, são fatores condicionantes à atividade de medição.

É um facto que a variabilidade, associada à precipitação, cria principalmente dificuldades de medição nos sistemas unitários; mas a conceção de sistemas separativos sujeitos a ligações indevidas, em que o caudal pluvial é bastante significativo, mesmo para pequenas bacias (Matos, 2003), faz com que o hidrograma em tempo húmido seja bastante diferente do obtido em tempo seco, havendo por isso também grandes dificuldades de monitorização, em parte porque existe uma alternância do escoamento, que pode afetar o bom funcionamento dos equipamentos e prejudicar a qualidade dos dados obtidos (Brito, 2012).

A medição de variáveis do escoamento e modelação hidráulica daí conseguida é uma ferramenta essencial na atualidade das redes de drenagem, desde que os modelos sejam devidamente calibrados e validados com dados anteriores (Cardoso, 2008). Em particular para o estudo dos impactes ambientais das descargas efetuadas pelo desvio de caudal nos reguladores de caudal, a monitorização é exigida a longo prazo, de maneira a considerar todos os possíveis comportamentos aleatórios adjacentes a cada bacia (Brito, 2012).

Através do artigo 186º do DR nº23/95, em 1990, já se pretendia a obtenção de dados que contribuíssem para um mais completo conhecimento dos caudais que afluíam às redes de drenagem, tendo-se definido as primeiras localizações preferenciais dos medidores de caudal nas redes. Posteriormente, com o aparecimento da ERSAR, em parceria com o LNEC, aprofundaram-se as orientações técnicas sobre as tecnologias de medição de caudal e a sua localização (Brito, 2012).

Uma preocupação que cedo foi tida em causa pela ERSAR foi a faturação dos serviços de saneamento, visto que grande parte dos sistemas separativos em Portugal apresenta uma grande contribuição pluvial, que deveria ser quantificada pelos equipamentos de medição aquando da passagem dos sistemas em “baixa” para os sistemas em “alta” (ERSAR, 2007). Com base nesta preocupação, que, no entanto, cria alguma controvérsia, visto que os sistemas unitários também transportam água pluvial que é faturada, e que as ETAR não conseguem tratar todo o volume de água que a elas aflui, recomenda-se que os volumes de água residual sejam medidos em seções de entrega, ou, alternativamente, em pontos estratégicos das ligações entre sistemas em “alta” e em “baixa”, de forma a obter a quantidade de água debitada por cada município (Brito, 2012).

Os objetivos que se pretendem atingir com a implementação de um sistema de medição e de monitorização, por parte de uma entidade gestora, são específicos para cada fase de atuação. Na fase

de planeamento, os objetivos prendem-se, essencialmente, com a análise e comparação de alternativas; na fase de projeto, a monitorização, tem como finalidade, o auxílio na intervenção em infraestruturas já existentes; e, durante a fase de operação, o objetivo da monitorização é maioritariamente para a avaliação de desempenho do sistema. Outros motivos para a introdução de medição são naturalmente as imposições legais e regulamentares, ou até mesmo as obrigações contratuais (Brito, 2012).

A sequência lógica defendida para o bom funcionamento de um sistema de monitorização consiste em definir o objetivo de medição, selecionar as variáveis necessárias a essa medição, selecionar o equipamento que lhe seja mais adequado, obter os dados pretendidos, validando-os, e posteriormente proceder à sua organização (Deletic, *et al*, 2008a).

O segundo ponto da sequência descrita passa pela seleção das variáveis a monitorizar, o que é bastante dependente não só do objetivo da medição, mas também dos custos dos equipamentos necessários à sua obtenção, da sua fiabilidade e das necessidades de manutenção. Adicionalmente, as variáveis escolhidas não devem limitar-se aos objetivos principais da monitorização, devendo também compreender o contexto envolvente como as características da bacia e a topografia. Sendo assim, as variáveis consideradas são maioritariamente (Deletic, *et. al.*, 2008b):

- ✓ Características locais;
- ✓ Características da infraestrutura;
- ✓ Dados meteorológicos;
- ✓ Características de qualidade da água e do meio recetor.

Considerando a totalidade do escoamento num coletor, quer unitário quer separativo doméstico, podem ser diferenciados três componentes principais (Brito, 2012):

- ✓ Infiltração base (originada por águas subterrâneas);
- ✓ Caudal doméstico (originado pelo uso habitacional, industrial e comercial);
- ✓ Caudal pluvial (originado por afluência direta de escoamento superficial ou retardado).

É importante ter presente que, em tempo húmido, no qual se verifiquem precipitações de elevada intensidade, podem alcançar-se caudais de ponta mais de 15 vezes superiores ao caudal de ponta em tempo seco e que a contribuição pluvial (excluindo a infiltração) pode ser superior a 30% do caudal médio doméstico (Matos, 2003). Também é de salientar que, nas redes de drenagem que transportem

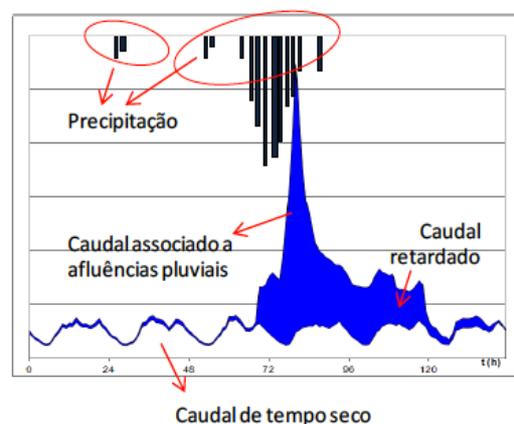


Figura 32 – Componentes de caudal num coletor separativo com contribuição pluvial (Adaptado Brito, 2012)

água pluvial, existem retenções no sistema que podem provocar o registo de uma afluência pluvial, por parte do medidor, mesmo após o fim do evento de precipitação (designado por caudal retardado), observando-se um caudal superior ao de tempo seco (**Figura 32**).

## **4.2 Medição de precipitação**

### **4.2.1 Equipamentos de medição**

A obtenção de valores quantitativos de precipitação baseia-se essencialmente na medição espacial discreta fornecida por udómetros, obtendo-se uma distribuição espacial da precipitação na bacia em estudo, por interpolação entre os valores obtidos por diversos udómetros afetos à bacia. Os tipos de udómetros disponíveis são bastante variados, sendo os mais comumente utilizados os de recipientes basculantes, que baseiam o valor da sua medição no volume da balança e no intervalo de tempo entre basculamentos (Brito, 2012).

Outro tipo de obtenção de medições de precipitação é através de estimativas por radar que, sendo menos recorrente do que a utilização de udómetros de recipientes basculantes, são uma hipótese quando a densidade de udómetros na área de estudo não é a suficiente.

As grandes vantagens da obtenção de valores por radar baseiam-se na sua grande consideração espacial e na possibilidade de considerar o deslocamento da precipitação no espaço (Maidment, 1993). No entanto, a incerteza associada à medição por radar, à escala das bacias urbanas correntes, pode ser razoavelmente elevada e, por isso tem de ser acompanhada por medições de udómetros que validem as medições por radar (Chiew *et al.*, 2008).

Abordando concretamente os dois casos de estudo apresentados no capítulo 5, a SIMTEJO (atual Águas do Tejo Atlântico, S.A.) concebeu e implementou um programa de instalação de uma rede de udómetros, paralelamente ao programa de medição de caudais, o que permitiu a obtenção dos dados de precipitação necessários a todo o estudo. Inicialmente os objetivos da rede de udómetros eram (SIMTEJO, 2017):

- Proceder à caracterização do regime de precipitação em cada subsistema;
- Face à dispersão geográfica, validar os caudais registados nos medidores em tempo húmido;
- Associar, com base num histórico considerável, os medidores de caudal aos udómetros;
- Determinar dias de tempo seco e dias de tempo húmido;
- A médio prazo e na ausência de dados, estimar os caudais de águas residuais de tempo húmido;
- Calibração de modelos matemáticos dos sistemas de drenagem.

### **4.2.2 Locais de medição**

Dos aspetos mais importantes a ter em atenção pelas entidades gestoras, há que considerar a localização dos equipamentos de medição, bem como a densidade adequada dos mesmos para a obtenção de medições fiáveis e abrangentes de toda a área em estudo, permitindo a obtenção de medições representativas (Brito, 2012).

As recomendações para a seleção do local mais adequado à instalação de udómetros são (Bertrand-Krajewsky, *et al.*, 2000a):

- ✓ O terreno deve ser praticamente plano ou com pendente contra a ação de ventos dominantes;

✓ Os obstáculos circundantes mais elevados devem encontrar-se a uma distância igual ou superior a quatro vezes a sua altura;

✓ O cone de receção do udómetro deve ser fixado a uma base perfeitamente horizontal e a aresta superior deve ser colocada a 1,00 metros do terreno.

É um facto que em áreas urbanas, como as das bacias da cidade de Lisboa, é relativamente complicado o cumprimento destes requisitos de localização, optando-se muitas vezes pela instalação de udómetros em locais elevados, embora sabendo que a precipitação nessas condições poderá ser bastante diferente daquela que se registaria ao nível do terreno (Brito, 2012).

Por sua vez, a densidade de udómetros dependerá obviamente do grau de pormenor pretendido em estudo, sabendo-se que na bibliografia da especialidade se sugere que se disponha de pelo menos 2 udómetros que forneçam dados em simultâneo, os quais não se distanciem um do outro mais do que 1 km e que o intervalo de tempo de amostragem seja igual ou inferior a 1 minuto (Niemczynowicz, 1991).

Outra recomendação quanto à densidade de udómetros a instalar está diretamente relacionada com a área da bacia em estudo, sugerindo-se que (Schiling, 1991):

$$N^{\circ}_{udómetros} = \sqrt{A_{bacia} (km^2)} \quad (4.1)$$

Por parte da SIMTEJO, observou-se a concretização de uma rede de udómetros que abrangeria um conjunto de 15 instalações (**Figura 33**). A instalação dos equipamentos de medição teve início no segundo semestre de 2010 e a entrada em funcionamento registou-se, em geral, durante o mês de setembro desse ano (SIMTEJO, 2017).

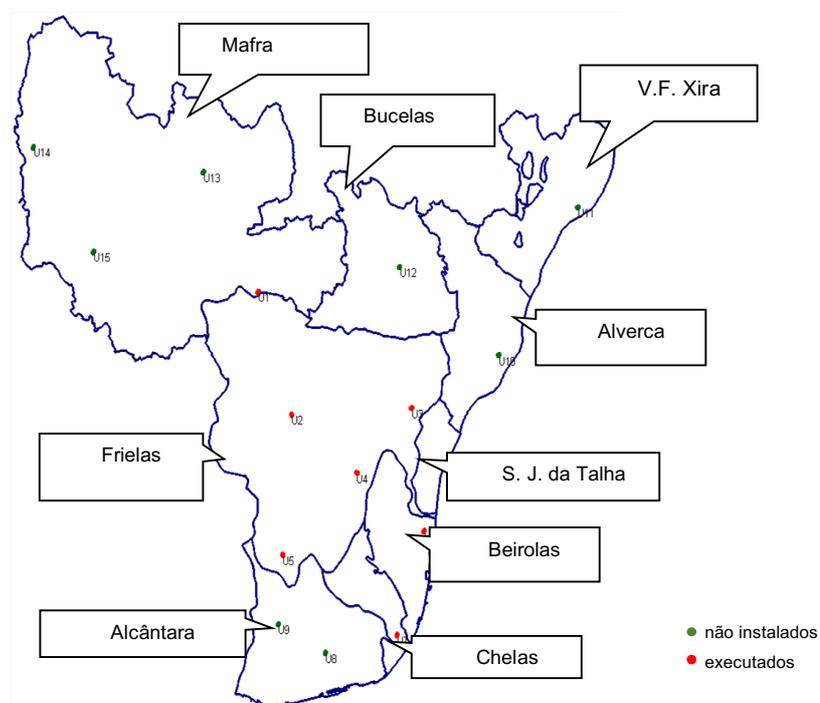


Figura 33 - Localização dos udómetros instalados pela SIMTEJO (adaptado de SIMTEJO)

A escolha dos locais de instalação dos udómetros baseou-se em dois critérios, nomeadamente no cumprimento de uma distância mínima ao obstáculo mais próximo e na proteção do equipamento contra atos de vandalismo. Deste modo, procedeu-se à instalação destes equipamentos em locais de difícil acesso ao público (pontos elevados) e que, ao mesmo tempo, estivessem suficientemente afastados de obstáculos que pudessem adulterar a leitura, tendo-se escolhido coberturas de reservatórios e topos de edifícios das ETAR ou de estações elevatórias (SIMTEJO, 2017).

Para a obtenção de dados de precipitação para os dois casos de estudo (Alfornelos e Frielas), foram utilizados os udómetros U5 – Bombeiros Voluntários da Pontinha e U7 – ETAR de Chelas (**Figura 34**).



Figura 34 - Localização dos udómetros U5 e U7 (Adaptado SIMTEJO)

### **4.3 Medições de velocidade de escoamento e altura de água**

#### **4.3.1 Soluções de multissensorização para medição de caudal em superfície livre**

Atualmente existem diversas soluções de medição de caudal em coletores, sendo que, podem ser utilizados medidores multissensoriais, que registam dados de altura da lâmina líquida e de velocidade do escoamento. Para esse efeito, tais medidores, possuem, geralmente, dois sensores de nível (um ultrassónico e um de pressão), e um sensor de velocidade por efeito de Doppler ou por “radar”.

Refere-se que, os sensores de nível medem a altura da lâmina líquida, permitindo a redundância na medição; no entanto, e a menos que o coletor entre em carga, deve optar-se por considerar apenas os dados obtidos pelo sensor ultrassónico. No que se refere ao sensor de velocidade, este permite a medição da velocidade média ou velocidade de pico, conforme o modelo de medidor.

O seu princípio de funcionamento baseia-se numa medição indireta, visto que, os valores de caudal retornados pelo equipamento, são calculados a partir de ambos os conjuntos de dados referidos.

Este tipo de equipamentos consiste em blocos de sensores, que são fixos no interior das condutas de águas residuais, na sua parte inferior e/ou superior, e é recomendável que sejam inspecionados regularmente, de forma a manter o seu estado de conservação, e efetuar as limpezas necessárias para ser possível a obtenção de uma leitura correta.

#### **4.3.2 Equipamentos de medição**

##### **4.3.2.1 Obtenção de dados de velocidade de escoamento**

###### **Aplicação do efeito de Doppler de onda contínua à medição de velocidades**

Considere-se um escoamento com superfície livre em conduta que, sobretudo para alturas de água reduzidas associadas a diâmetros de conduta até 1 m, lhe tem associado um campo de velocidades com uma distribuição parabólica, (**Figura 35**).

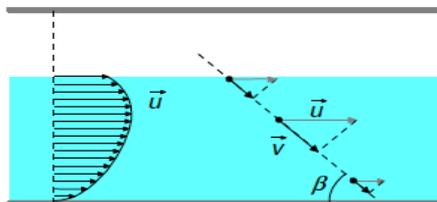


Figura 35 - Componentes das velocidades das partículas na direção do emissor (Adaptado LNEC, 2006)

Admitindo que a direção da velocidade em cada ponto do perfil é coincidente com a direção do escoamento e supondo que as partículas em suspensão se deslocam com igual velocidade à da água que as transporta, um sistema de medição por efeito de Doppler de onda contínua será constituído por um emissor localizado no ponto mais baixo da conduta.

Por sua vez, uma dada partícula de velocidade longitudinal  $\vec{u}$  originará uma onda refletida na direção do emissor com uma componente de velocidade  $\vec{v}$ , obtendo-se assim o desvio de frequência ( $\Delta f$ ) na onda refletida e, uma vez conhecido  $\Delta f$ , é possível a determinação da velocidade longitudinal do escoamento pela equação (4.2).

$$u = \frac{c}{2f_s \sin \beta} \Delta f \quad (4.2)$$

Em rigor, as ondas refletidas nas partículas são numerosas, pelo que o espectro de frequências tem uma grande concentração de valores. No entanto, admite-se simplificadamente uma curva contínua, o que é equivalente a admitir que não existe qualquer atenuação na propagação das ondas ultrassónicas e que, portanto, a distribuição espectral corresponde ao teor de velocidades presentes no feixe (LNEC, 2006).

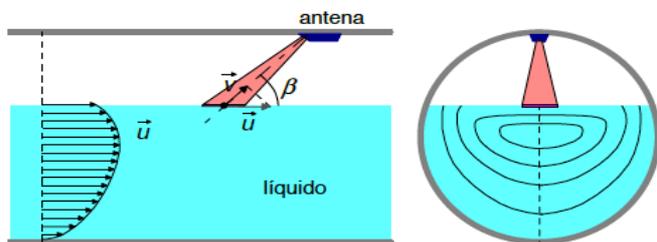
Depois de determinado o valor da velocidade do escoamento, para se obter o seu valor médio haveria que calcular a distribuição de velocidades obtida, sendo que é possível considerar-se um fator empírico (Huhta et al. 2005) para calcular a velocidade média do escoamento através da velocidade média do espectro obtida, passando-se o mesmo com a determinação do valor da velocidade máxima do escoamento. É de referir que tais fatores empíricos dependerão do padrão de escoamento e da geometria da secção molhada. Porém, os equipamentos de medição de caudais que utilizam a aplicação do efeito de Doppler para a obtenção do valor de velocidade de escoamento, retornam um valor representativo retirado da distribuição de velocidades, a partir do qual é possível inferir-se um valor médio.

#### **Aplicação de ondas eletromagnéticas à medição de velocidades**

Este processo difere do anterior porque utiliza ondas eletromagnéticas em vez de ondas elásticas, mas que estão, na mesma, sujeitas aos fenómenos de reflexão e ao efeito de Doppler (LNEC, 2006).

Tal técnica é denominada “por radar” e utiliza ondas na gama das dezenas de GHz, necessitando apenas de uma antena recetora de muito pequena dimensão. Utilizando um feixe inclinado face à

superfície livre do escoamento, é possível determinar as velocidades horizontais nos pontos da superfície onde incide o feixe, através da expressão (4.3).



$$u = \frac{v}{\cos \beta} \quad (4.3)$$

Figura 36 - Componentes de velocidade das partículas na direção do emissor (Adaptado LNEC, 2006)

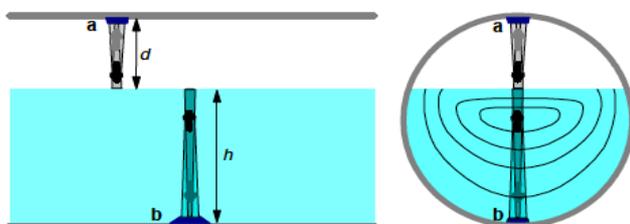
Ao se admitir que a distribuição de velocidades numa seção de referencia é invariável, para cada valor da altura de escoamento é então possível inferir o valor da sua velocidade média (LNEC, 2006).

#### 4.3.2.2 Obtenção de dados de nível lâmina líquida

##### Aplicação de sensores ultrassônicos à medição de nível da superfície livre

A obtenção de dados de nível de lâmina líquida por sensores ultrassônicos é a mais desejável, mas, quando acompanhados pelos dados de medição do sensor de pressão, apresentam uma maior redundância na medição (LNEC, 2006). No entanto, em casos de coletores em carga, os dados obtidos pelos sensores ultrassônicos não são fiáveis.

Esta tecnologia (**Figura 37**) permite determinar a distância até à interface ar/líquido ( $x$ ), através da medição do tempo de trânsito da onda, recorrendo à expressão (4.4).



$$x = \frac{c \Delta t}{2} \quad (4.4)$$

Figura 37 - Instalação de sensores ultrassônicos superior e inferior (Adaptado LNEC, 2006)

Caso o sensor se encontre emerso, poderá medir a distância a que se encontra o líquido; caso se encontre imerso, poderá determinar diretamente a altura da lâmina de água.

Percebe-se que é um método bastante dependente da regularidade da superfície livre, ao qual está associada uma incerteza de medição elevada, mesmo ao optar-se por uma duplicação de sensores. Adicionalmente, a situação de imersão/emersão do sensor pode ser prejudicada por variações de nível indesejadas, de que é exemplo a entrada em carga do coletor, o que faria com que o sensor emerso não obtivesse dados de medição e daí se justificar a opção de utilizar sensores de pressão nessas condições (LNEC, 2006).

##### Aplicação de sensores de pressão à medição de nível da superfície livre

Uma forma clássica de obtenção do nível de água no coletor é baseada na utilização de sensores de pressão colocados sobre o fundo da condução (**Figura 38**). O método de medição do nível de água é

então baseado na relação entre a pressão relativa e a massa volúmica do líquido circulante, através da equação (4.5) (LNEC, 2006).

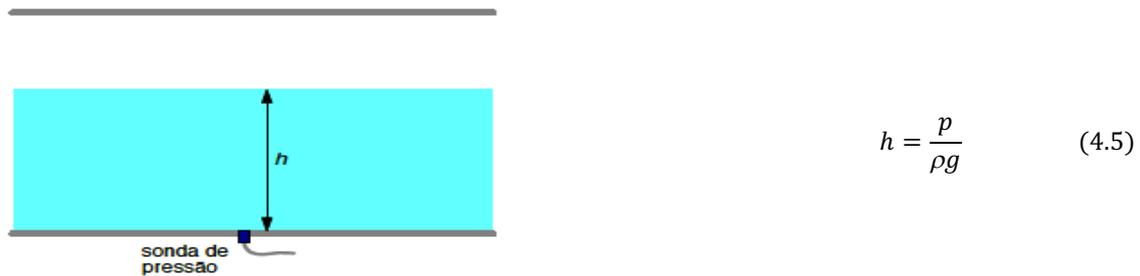


Figura 38 - Medição de pressão hidrostática para determinação de nível (Adaptado LNEC, 2006)

Tal medidor contém uma membrana que é deformada pela diferença de pressão existente, transformando-se depois a deformação num sinal elétrico que se traduz no valor de altura de lâmina de água. Na realidade, estes dispositivos medem a diferença de pressão entre o lado da membrana que contacta com o líquido e o lado interior, que unicamente contém ar (LNEC, 2006). É importante referir que este tipo de medidores é, em geral, sensível a variações de temperatura e a grande agitação no escoamento.

Porém, a grande vantagem deste equipamento face aos medidores ultrassónicos prende-se com a continuação de medição da altura de água, mesmo quando esta ultrapassa a cota superior do coletor (sistema em carga), o que não acontece com o sensor ultrassónico. Torna-se, por isso, na única solução de obtenção de alturas de escoamento quando o sistema entra em carga e serve como possibilitador de maior redundância dos valores obtidos pelo equipamento ultrassónico, para situações de altura da lâmina de água inferiores à cota superior do coletor (LNEC, 2006).

### 4.3.3 Combinações de sensores

No domínio da utilização de sistemas com medição, predominam, atualmente, para os sistemas de drenagem de águas residuais urbanas, os equipamentos ultrassónicos de medição de velocidades e níveis de lâmina de água (LNEC, 2006). Adicionalmente ao já referido, os fabricantes permitem ainda a instalação de um componente secundário, o qual funciona como condicionador de sinal que permite a obtenção de diferentes graus de redundância para os dados obtidos (LNEC, 2006).

Assim sendo, podem projetar-se diversas combinações de sensores, sendo as mais comuns:

- Sensor de velocidade quádruplo, recorrendo a Doppler ultrassónico de onda pulsada e a sensor de nível ultrassónico por tempo de trânsito;
- Sensor de velocidade duplo, recorrendo a Doppler ultrassónico de onda contínua, sensor de nível por pressão hidrostática e sensor ultrassónico de nível por tempo de trânsito;
- Sensor de velocidade simples, recorrendo a radar e a sensor de nível ultrassónico por tempo de trânsito.

### 4.3.4 Locais de medição

A localização ideal de um equipamento de medição de velocidade e de nível de água é bastante discutível, porque dependerá bastante do tipo de análise que se pretende realizar, da fiabilidade dos

dados que se desejem obter e das próprias variáveis a monitorizar. Para além do mais, para cada caso de estudo a localização do equipamento pode ser bastante variável. Assim sendo, a seleção do equipamento e da sua localização deve sempre balancear os critérios de aplicabilidade, de custo e de desempenho (Brito, 2012).

No que diz respeito à fiabilidade de dados obtidos, apenas se refere que a localização do equipamento de medição deve ser tal que não perturbe o escoamento, o que influenciaria os dados obtidos.

#### 4.4 Tratamento de dados e incertezas associadas

Após a recolha dos dados provenientes dos sensores previamente definidos, cabe aos técnicos responsáveis a edição dos mesmos, fazendo a sua aceitação ou a sua rejeição. Sempre que os dados se apresentem de forma contraditória entre si e/ou revelem uma ausência de padrão razoável de comportamento, a sua validação não será efetuada. Para isso, é muito importante dispor paralelamente de dados de precipitação recolhidos por redes de udómetros tão próximas quanto possível, e também, dos registos das manutenções efetuadas aos próprios equipamentos, de forma a ser possível saber se, uma determinada alteração dos dados obtidos, poderá corresponder a um período em que se efetuou a manutenção do equipamento (SANEST, 2010).

Posteriormente, a obtenção do caudal final, a partir dos dois conjuntos de dados obtidos pelos medidores (velocidades e níveis de lâmina líquida), pode ser efetuada de duas formas:

- através da **equação da continuidade** (4.6): requer os dados de velocidade e de nível;

$$Q = S \times v_{média} \quad (4.6)$$

- através da **equação de Manning**: requer apenas os dados de nível.

$$Q = \frac{1}{n} A R h^{2/3} S^{1/2} \quad (4.7)$$

Sempre que existam ambos os registos, deve utilizar-se a equação da continuidade, que na sua forma simplificada, é dada por (4.6)

Em particular, para os casos de estudo abordados nesta dissertação, o tratamento de dados já se encontrava realizado à partida, visto que, tratando-se de medidores de caudal instalados na rede de drenagem, com o objetivo principal de servirem como meio de faturação aos municípios, tais processos de tratamento e de validação já tinham sido necessários de efetuar previamente. Assim sendo, ao se comprovar que os dados utilizados neste estudo já teriam realmente sofrido um processo de validação, procedeu-se à sua análise, tendo como objetivo o estudo da eficácia das válvulas reguladoras de caudal instaladas, em ambos os casos de estudo, apresentados no capítulo seguinte.

Note-se que ambas as equações referidas anteriormente, requerem os dados de nível de água, sendo que, em ambos os casos, o valor do caudal obtido depende de uma secção molhada que está associada a cada registo de nível. Para os dados obtidos pelo sensor ultrassónico, a secção molhada é genericamente dada por (4.8):

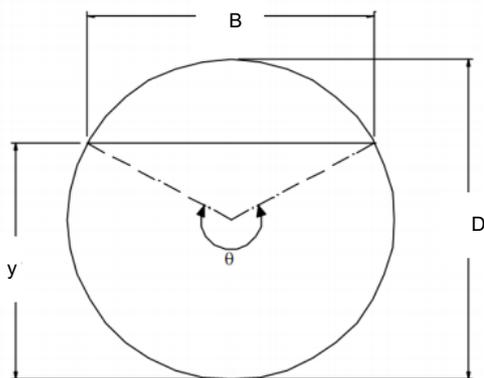


Figura 39 - Geometria da seção molhada

$$A = \frac{D^2}{8}(\theta - \sin(\theta)) \quad (4.8)$$

No entanto, para os registos obtidos pelo sensor de pressão, no caso de o coletor se encontrar em carga, tanto a área como o perímetro molhados deixam de depender da geometria do coletor, sendo impossível, com os meios disponíveis, fazer depender a secção molhada dos valores de nível resultantes do medidor de pressão, razão pela qual é impossível utilizar as fórmulas da continuidade ou de Manning para a obtenção do caudal no caso de registos do transdutor de pressão para situações do coletor em carga, justificando-se a preferência pelos dados do sensor ultrassónico (SANEST, 2010).

Quanto à incerteza associada a cada medição, há que ter em conta que os sensores utilizados em redes de drenagem são constantemente sujeitos a situações bastante adversas ao seu funcionamento, as quais levam não só à sua degradação progressiva, mas também conduzem a leituras incorretas. Por esse motivo se têm desenvolvido equipamentos cada vez mais resistentes e com uma maior redundância; porém, a situação está longe de ser a ideal.

Recorrendo ao estudo de Harmel *et al.* (2006) e de Brito (2012), definiu-se uma análise de propagação de incerteza de medições em bacias hidrográficas de pequena dimensão, em que se dividem os procedimentos de medição de caudal por cenários condicionantes ao processo de obtenção de dados. Tais estimativas de incertezas na medição indicaram existir uma forte dependência da medição não só dos recursos técnicos, mas também do local de medição e dos recursos financeiros.

Tal constatação permite afirmar que todos os dados de medição de caudal obtidos e analisados no capítulo seguinte têm uma incerteza associada, a qual será tanto maior quanto mais adversas forem as condições nas quais estes foram obtidos, referindo-se que, atualmente, para ambas as obras em estudo, e tendo em conta todo um historial passado de medições, os dados conterão uma incerteza na ordem dos 9%.

#### **5.1 Soluções preconizadas em projetos de execução**

##### **5.1.1 Plano de controlo de caudais pluviais no sistema de Frielas**

###### **5.1.1.1 Considerações iniciais**

O objetivo de estudo do “Plano de Controlo de Caudais Pluviais no Subsistema de Frielas” foi aumentar o conhecimento sobre o funcionamento do sistema interceptor da ETAR de Frielas, permitindo a implementação de medidas operacionais e estruturais que minimizassem o impacto negativo decorrente da excessiva afluência pluvial, sem necessidade de tratamento, à ETAR de Frielas.

A totalidade do plano de controlo de caudais pluviais no subsistema de Frielas englobou cinco volumes distintos, nos quais se elaborou primeiramente uma análise global do sistema de drenagem e uma avaliação do funcionamento do sistema interceptor e das respetivas entradas de caudal. Posteriormente desenvolveu-se um modelo de análise, que foi devidamente validado e calibrado. Surge então como volume principal de todo o projeto o “Plano de Controlo de Afluências Pluviais”, dividido em diversos tomos, relativos aos projetos de execução, e de acordo com a bacia urbana a intervir. No contexto da análise desenvolvida no presente documento, a bacia em estudo foi a bacia de Alforneiros (BRC.6), cujas obras de controlo de caudais pluviais foram executadas em 2015.

###### **5.1.1.2 Descrição geral do sistema intervencionado**

A bacia de Alforneiros é uma bacia de cabeceira com uma área de 1,005 Km<sup>2</sup> e servia 15 388 habitantes em 2001, sendo a terceira bacia mais densa de todo o sistema de Frielas. As principais características da bacia de Alforneiros podem ser consultadas na **Tabela 12**.

Tabela 12 - Características da bacia BRC.6

<b>Bacia</b>	BRC.6 – Alforneiros
<b>Tipo</b>	Bacia de entrada
<b>Nó de entrada</b>	Alforneiros
<b>Tipo de sistema de drenagem na ligação em alta</b>	Unitário
<b>Tipo de ligação ao sistema em alta</b>	Descarregador
<b>Área contributiva (m<sup>2</sup>)</b>	1.005.475
<b>Área / Comprimento (m)</b>	613.23
<b>Declive médio (%)</b>	3,7

É de significativa importância referir que a rede do sistema em “baixa” tem carácter unitário e recolhe caudais pluviais significativos. A transição para o interceptor do sistema em “alta” faz-se por um órgão de controlo com um descarregador que efetua uma primeira separação do excesso pluvial. Em tempo de chuva é admitida na rede em “alta” uma componente relativa ao caudal doméstico e uma outra componente relativa ao caudal pluvial, seguindo o excesso pluvial para a linha de água.

Conclui-se que, após a separação, o caudal segue por dois coletores de traçados idênticos:

- Um doméstico, embora ainda com uma componente pluvial, (interceptor de Alforneiros), que entra no sistema da Águas do Tejo Atlântico, de DN400 em PVC.

➤ Um unitário (galeria pluvial), que transporta as águas residuais unitárias da bacia que o interceptor de Alfoanelos não tem capacidade para transportar, em galeria de secção retangular de betão armado.

O coletor doméstico (interceptor de Alfoanelos) encontra-se no interior da própria galeria pluvial e tem um diâmetro de 400mm, descarregando no interceptor do Rio da Costa (**Figura 40**).

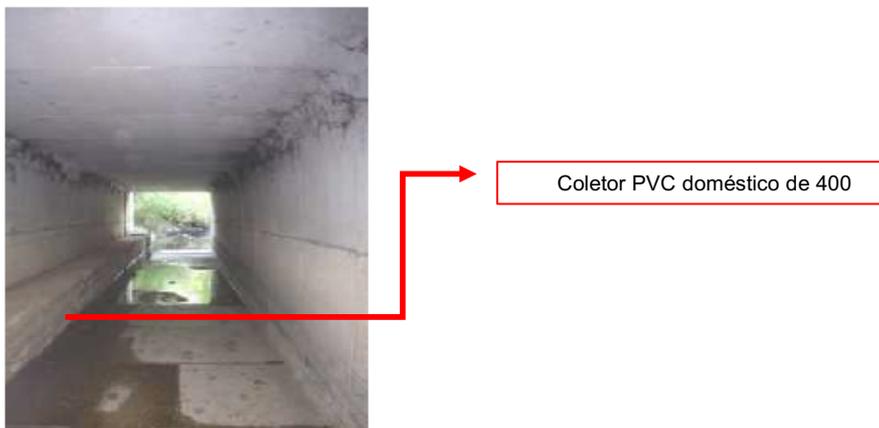


Figura 40 - Coletor doméstico no interior da galeria pluvial

### 5.1.1.3 Caudais medidos

Com a finalidade de se obter uma medição de caudal no interceptor de Alfoanelos, para ser possível uma análise do seu desempenho, instalou-se um medidor (BRC.6-C1) no interior do interceptor, dentro da galeria pluvial. O medidor contabilizou as águas transportadas e permitiu calibrar o modelo *SWMM* utilizado para a elaboração do projeto de intervenção. Os registos obtidos pelo medidor são apresentados na **Tabela 13** (Plano de controlo de caudais pluviais no subsistema de Frielas).

Tabela 13 - Caudais no interceptor de Alfoanelos antes da intervenção

Interceptor de Alfoanelos		
Caudal médio em tempo seco	35	L/s
Caudal de ponta em tempo seco	61	L/s
Caudal de ponta em tempo húmido	180	L/s

### 5.1.1.4 Modelo de simulação e resultados obtidos

No âmbito do plano foi desenvolvido um modelo *SWMM* da precipitação e do escoamento para o subsistema de drenagem de Frielas, com todas as infraestruturas do sistema, com base no cadastro existente e em levantamentos topográficos.

Para o desenvolvimento do estudo e construção do modelo do sistema interceptor de Frielas foi necessário estimar a produção de água residual doméstica e industrial de toda a área servida pelo sistema e determinar os respetivos pontos de entrada no sistema em “alta”. Para atingir este objetivo, procedeu-se à distribuição das manchas de população pelos interceptores constituintes do sistema, de acordo com a informação demográfica disponível e com os cadastros das redes em “baixa”, tendo sido estimados os caudais de água residual em cada ponto de entrada do sistema em “alta”.

As principais conclusões obtidas através da simulação do modelo foram as seguintes:

✓ Durante os eventos de precipitação verificou-se um aumento significativo de caudal devido a contribuições pluviais.

- ✓ Durante alguns eventos de precipitação de baixa intensidade o sistema interceptor já transportava até à ETAR um caudal superior à sua capacidade de tratamento.
- ✓ As descargas de caudal excessivo ocorriam nos pontos de maior impacte para as populações.

Após o extenso reconhecimento do sistema no campo e a análise do modelo matemático construído, foram identificados pontos críticos. Assim sendo, foram definidos pontos de intervenção considerados como relevantes após a análise técnica do sistema interceptor. Posteriormente, as intervenções propostas foram avaliadas com o auxílio da ferramenta de modelação devidamente calibrada.

As intervenções preconizadas permitiriam o controlo do volume afluente proveniente das bacias de maior contribuição, em pontos considerados estratégicos. Deste modo, através da instalação e da remodelação de dispositivos de controlo de caudal, seria possível controlar as entradas no sistema, garantindo a máxima capacidade de transporte das infraestruturas de forma controlada e permitindo a descarga de excedentes pluviais para as linhas de água em zonas de menor impacte para as populações e para o ambiente (Plano de controlo de caudais pluviais no subsistema de Frielas).

Através da consideração de três cenários distintos, procedeu-se à ressimulação de todo o sistema afetado das modificações provenientes das condicionantes de cada cenário. Tais condicionantes são apresentadas nas **Tabelas 14, 15 e 16**, referentes a cada um dos cenários considerados (Plano de controlo de caudais pluviais no subsistema de Frielas).

Tabela 14 - Condicionantes do cenário de intervenção 1

Cenário	Condicionantes do cenário		
1	Capacidade de tratamento da ETAR de Frielas	6.000	m <sup>3</sup> /h
	Caudal máximo proveniente do interceptor do Rio da Costa	3.500	m <sup>3</sup> /h
	Caudal máximo proveniente dos interceptores de Fanhões, Lousa, EN8 e Loures	2.500	m <sup>3</sup> /h
<b>Intervenções</b>	BRC.3.1, BRC.3.3, BRC.4.1, BRC.4.2, BRC.5.1, BRC.5.2 e <b>BRC.6 (Alfornelos)</b>		

Tabela 15 - Condicionantes do cenário de intervenção 2

Cenário	Condicionantes do cenário		
2	Capacidade de tratamento da ETAR de Frielas	6.000	m <sup>3</sup> /h
	Caudal máximo proveniente do interceptor do Rio da Costa	6.000	m <sup>3</sup> /h
<b>Intervenções</b>	BRC.3.1, BRC.5.1 e <b>BRC.6 (Alfornelos)</b>		

Tabela 16 - Condicionantes do cenário de intervenção 3

Cenário	Condicionantes do cenário		
3	Capacidade de tratamento da ETAR de Frielas	6.000	m <sup>3</sup> /h
	Caudal máximo proveniente do interceptor do Rio da Costa	6.000	m <sup>3</sup> /h
<b>Intervenções</b>	BRC.3.1, BRC.3.3, BRC.5.1 e <b>BRC.6 (Alfornelos)</b>		

A consideração de tais cenários permitiu a comparação da situação atual, quanto ao caudal afluente à ETAR de Frielas, face à situação expectável de suceder em cada um dos cenários após a realização das intervenções preconizadas, através da utilização do modelo *SWMM* calibrado.

A análise efetuada mostrou claramente a necessidade de realizar algumas ações corretivas que permitissem diminuir o caudal transportado em tempo de chuva nos interceptores do sistema em “alta” e, por este meio, melhorar o funcionamento hidráulico da rede e da ETAR.

#### 5.1.1.5 Soluções de intervenção

A solução preconizada apresentou três objetivos principais, sendo eles:

- ✓ Melhoria do controlo do excesso pluvial afluente ao sistema em “alta”.

- ✓ Remoção do escoamento dos sólidos de maior dimensão.
- ✓ Melhoria do sistema de recolha de água pluvial superficial.

Para o primeiro objetivo preconizou-se a instalação de uma válvula de controlo de caudal pluvial que limitasse o caudal a 6 vezes o caudal médio de tempo seco, ou seja, 210 L/s, de acordo com os dados de medição obtidos pelo medidor instalado no intercetor de Alfornelos. No entanto, após alteração de projeto, o que foi realmente instalado foi uma válvula dimensionada para 2 vezes o caudal de ponta em tempo seco, ou seja, 120 L/s (Plano de controlo de caudais pluviais no subsistema de Frielas).

Para a separação de sólidos grosseiros preconizou-se a materialização de uma câmara de retenção de grossos na câmara de junção dos coletores unitários.

Na câmara de receção seriam instaladas duas válvulas murais (VM1 e VM2), de forma a funcionarem como um sistema de *bypass*, fechando a VM1 e abrindo a VM2 quando se pretende intervir na válvula de controlo de caudal. O caudal afluyente em excesso que não passasse pela válvula limitadora seria diretamente desviado para a linha de água próxima através de uma descarga com válvula de maré.

### 5.1.1.6 Equipamentos instalados

#### Válvula controladora de caudal

A grande intervenção prendeu-se com a instalação da válvula controladora de caudal, tendo, neste caso, a opção recaído num modelo do tipo flutuador *HydroSlide MINI* com abertura lateral para a direita. As propriedades principais da válvula *HydroSlide* são apresentadas na **Tabela 17**.

Tabela 17 - Propriedades da válvula controladora de caudal instalada

Válvula Controladora de Caudal		
Carga hidráulica máxima	1,4	m.c.a
Caudal de dimensionamento	120	L/s
Funcionamento normal	Aberta	
Funcionamento possível	Parcialmente fechada	
Diâmetro	400	mm
Material	Aço Inox AISI 316L	

#### Válvulas Mural

Conforme referido antes, também foi preconizada a instalação de duas válvulas mural (VM1 e VM2) na câmara de receção de caudal, para que o sistema também funcionasse como *bypass* em caso de intervenção na válvula controladora de caudal.

#### Válvula de Maré

Procedeu-se ainda à instalação de uma válvula de maré, para impedir que o caudal da linha de água afluísse ao poço de grossos, permitindo, no entanto, a descarga do caudal excedente que afluí ao poço.

## 5.1.2 Controlo de caudais pluviais no sistema de Alcântara

### 5.1.2.1 Considerações iniciais

O projeto de execução do emissário de Monsanto contemplou três fases distintas, sendo que, no contexto do presente documento, serão apenas abrangidas as obras de execução referentes às segunda e terceira fases, que foram projetadas em conjunto (Projeto de Execução do Emissário de Monsanto).

Assim sendo, o projeto de execução das fases 2 e 3 do emissário de Monsanto foi executado em Março de 2007 e englobou três volumes distintos, interessando para o estudo em causa apenas o primeiro volume do projeto, em que constam as memórias descritivas e as medições.

No âmbito deste documento, a análise prendeu-se essencialmente com a obra de controlo de caudal pluvial realizada no bairro de Caselas, e conseqüente melhoria de funcionamento do sistema, com o intuito de obter uma avaliação da eficiência da solução adotada na bacia de Caselas e seus impactes no sistema de Alcântara.

Refira-se que as águas residuais produzidas nas freguesias abrangidas pelo projeto são encaminhadas para o sistema interceptor Algés-Alcântara e daí transportadas até à ETAR de Alcântara, onde são devidamente tratadas.

#### **5.1.2.2 Elementos-base**

De acordo com as orientações fornecidas, as obras a realizar no contexto das fases 2 e 3 do projeto deveriam ser projetadas para um horizonte de 30 anos, ou seja, até ao ano de 2036.

Quanto à estimativa populacional, a análise elaborada recaiu na separação da população por aglomerados populacionais referentes a cada um dos três concelhos abrangidos e por cada secção do interceptor, para o ano atual e para o horizonte de projeto (Projeto de Execução do Emissário de Monsanto).

Quanto às capitações consideradas em projeto, para o concelho de Oeiras foram fornecidas pela empresa interessada; para o concelho da Amadora foi admitido que, na freguesia da Buraca, se poderiam adotar as capitações de Alfragide. Quanto ao concelho de Lisboa, com exceção do bairro de Caselas, todas as restantes capitações já tinham sido calculadas aquando da elaboração da 1ª fase do projeto. Todas as restantes capitações foram admitidas por comparação com projetos similares, com populações da mesma ordem de grandeza, tendo em conta particularidades relacionadas com cada caso. Para a taxa de crescimento temporal dos valores das capitações foi admitida uma taxa aritmética constante de 1,0 L/hab.dia.ano (Projeto de Execução do Emissário de Monsanto).

Os caudais médios diários anuais de águas residuais foram calculados tendo em conta as populações e as capitações atrás definidas e considerando um coeficiente de afluência à rede de 0,8 (Projeto de Execução do Emissário de Monsanto).

É importante referir que toda a área de estudo, à exceção da rede de Caselas, é de conceção separativa; contudo, devido a deliberação interna à análise, optou-se pelo dimensionamento do emissário de Monsanto para um caudal de segurança correspondente ao dobro do caudal de ponta de águas residuais em tempo seco, de forma a prover as infraestruturas com capacidade excedentária em caso de afluência de águas residuais pluviais provenientes de ligações indevidas. Este caudal de segurança é então denominado caudal unitário e serve de caudal de dimensionamento a todo o projeto.

Teve-se em consideração, através de expressões regulamentares, que os caudais de infiltração poderiam atingir o mesmo valor dos caudais médios diários anuais de águas residuais domésticas e que os caudais industriais seriam de 40 m<sup>3</sup>/ha, com um fator de ponta de 3,0 (Projeto de Execução do Emissário de Monsanto).

### 5.1.2.3 Critérios gerais de conceção e de dimensionamento

Os critérios gerais adotados para o processo de dimensionamento decorreram do “Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e drenagem de águas residuais”, bem como de normas portuguesas e comunitárias em vigor aplicáveis a obras hidráulico-sanitárias.

### 5.1.2.4 Descrição geral do emissário

O emissário de Monsanto desenvolve-se entre o parque de campismo de Monsanto e a baixa de Algés. É importante salientar que, na parte do projeto previamente realizada, já se haviam estudado algumas diferentes alternativas de traçado do emissário, visto que apareciam três atravessamentos de estrada como obstáculos a transpor. Para cada um dos obstáculos juntaram-se outras particularidades de projeto, as quais levaram a uma análise técnico-económica das alternativas consideradas, obtendo-se duas principais soluções (Projeto de Execução do Emissário de Monsanto):

- ✓ Alternativa A – com traçado por fora da CRIL;
- ✓ Alternativa B – com traçado por dentro da CRIL.

Optou-se então pela alternativa de traçado B, que preconizava o traçado pelo lado de dentro da circular CRIL, por ser mais vantajosa do ponto de vista técnico-económico.

Era assumido que o emissário de Caselas não se encontrava operacional desde há bastante tempo, estando entupido e em situação não recuperável, pelo que o traçado escolhido para o novo emissário iria simultaneamente resolver também o problema do emissário de Caselas.

Quanto ao traçado em perfil longitudinal, foram respeitadas sempre as inclinações mínimas regulamentares e as inclinações máximas foram tais que os caudais de projeto não se escoariam com velocidades superiores às limite (Projeto de Execução do Emissário de Monsanto).

### 5.1.2.5 Dimensionamento das câmaras de controlo de caudal

Conforme já foi referido anteriormente, as redes afluentes ao Emissário de Monsanto são de conceção separativa, com exceção da rede de Caselas, de uma parte da rede de Algés de Cima e de mais algumas pequenas áreas dispersas pela bacia da ribeira de Algés. Contudo, tendo em conta as ligações indevidas de águas pluviais às redes afluentes ao Emissário de Monsanto, estas são, de facto, pseudo-separativas, sendo então necessário limitar o caudal afluente ao emissário e à ETAR.

Optou-se pela implementação de válvulas reguladoras de caudal do tipo vórtice nos principais emissários afluentes ao Emissário de Monsanto. Assim sendo, previu-se a instalação de câmaras de controlo de caudal nas ligações do Emissário de Caselas, do Emissário do Zambujal, do Emissário de Monsanto - 2ª Fase, do Emissário de Outurela/Portela e do Emissário de Miraflores

Os caudais de dimensionamento das válvulas a instalar foram calculados e são apresentados na **Tabela 18** (Projeto de Execução do Emissário de Monsanto).

Tabela 18 - Caudais de dimensionamento das válvulas vórtice a instalar

Câmara de Controlo	Caudal (L/s)
<b>Emissário de Caselas</b>	<b>20</b>
Emissário do Zambujal	200
Emissário de Monsanto – 2ª fase	100
Emissário de Outurela/Portela	80
Emissário de Miraflores	60

As câmaras de controlo de caudal preconizadas seriam compostas por três compartimentos:

- No compartimento de chegada instalar-se-ia um descarregador de tempestade que descarregasse o caudal excedente para um compartimento anexo, o qual teria ligação a uma linha de água e onde se instalaria uma válvula de maré.
- A jusante do compartimento de chegada instalar-se-ia uma válvula tipo vórtice, para limitação do caudal afluente.

Resumidamente: em tempo húmido, a válvula impediria a passagem de um caudal superior ao dobro do caudal de ponta em tempo seco. No compartimento de chegada depositar-se-iam os sólidos de maiores dimensões, prevendo-se ainda a instalação de uma grelha, associada ao descarregador de tempestade, que reteria os sólidos que não ficassem depositados no canal de entrada. A limpeza do canal de entrada e da grelha seria efetuada à *posteriori* pela equipa de operação da rede.

## 5.2 Desempenho do equipamento de controlo de caudal

### 5.2.1 Bacia de Alfoanelos, sistema de Frielas

#### 5.2.1.1 Obtenção dos dados de medição

No caso da obra de Alfoanelos, o medidor instalado refere-se ao modelo “*ADS Flowhawk*” e é de um dos tipos referidos no capítulo anterior, sendo que, anteriormente à obra era constituído por dois sensores de altura de lâmina líquida (um ultrassónico e outro de pressão) e por um medidor de velocidade de escoamento por efeito de Doppler ultrassónico de onda contínua; posteriormente à obra, foi instalado um equipamento com apenas um sensor de altura de lâmina de água ultrassónico, mantendo-se a medição de velocidade por efeito de Doppler.

Para que se compreendesse a influência da consideração dos dados recolhidos por um sensor de pressão face a um sensor ultrassónico, analisou-se a situação referente à obra de Alfoanelos antes da implementação de um regulador de caudal, no final do ano de 2015, tendo por base um ano contínuo de registos de nível obtidos por cada um dos sensores. Conforme se pôde entender, apesar de ambas as leituras apresentarem um comportamento semelhante, a verdade é que, no momento de entrada em carga do coletor, enquanto o medidor ultrassónico regista um nível de água máximo de **389,3 mm**, que corresponde aproximadamente ao diâmetro interno do coletor, o medidor de pressão regista o valor de **1115,6 mm**, razão pela qual o caudal calculado através da fórmula da continuidade, utilizando o medidor ultrassónico, será claramente inferior ao real. Além do mais, surgem também limitações associadas à consideração da secção molhada de um coletor em carga, conforme se explicou anteriormente.

Contudo, para um funcionamento dito normal, sem entrada em carga do coletor, o sensor ultrassónico apresenta uma menor incerteza de registos (LNEC, 2006).

Quanto aos registos de velocidade de escoamento, eles referem-se a velocidades superficiais, pelo que para o cálculo da velocidade média necessária ao cálculo do caudal, primeiramente houve que estabelecer perfis de velocidade, definidos no local com a realização de uma medição recorrendo a uma vara de velocidades, que permitissem a definição de um fator que relacionasse ambas as

velocidades, embora com um erro associado, visto que o processo é manual e muito dependente da pessoa que o realiza.

### 5.2.1.2 Análise dos dados de medição

A análise elaborada teve por base uma amostra de dados de velocidade e de nível de água depois de devidamente tratados e validados pela equipa de medição de caudal. Tal amostra permitiu a identificação de comportamentos horários, semanais e mensais da afluência de águas residuais domésticas ao subsistema em estudo e também a perceção da influência do caudal pluvial no comportamento do escoamento quando se registaram períodos de precipitação identificados pelos udómetros instalados nas proximidades.

A primeira preocupação foi a referida identificação de comportamentos de forma a saber se as variações de nível e de caudal obtidas pelo medidor instalado seriam plausíveis tendo por base os hidrogramas-padrão que, para este caso de estudo, já se conheciam para um período anterior ao da implementação da solução de regulação de caudal.

Com base na análise de registos de medição fornecidos durante o período de 1 ano, desde julho de 2012 até junho de 2013, foi possível a obtenção dos hidrogramas padrão do comportamento doméstico (**Figura 41**).

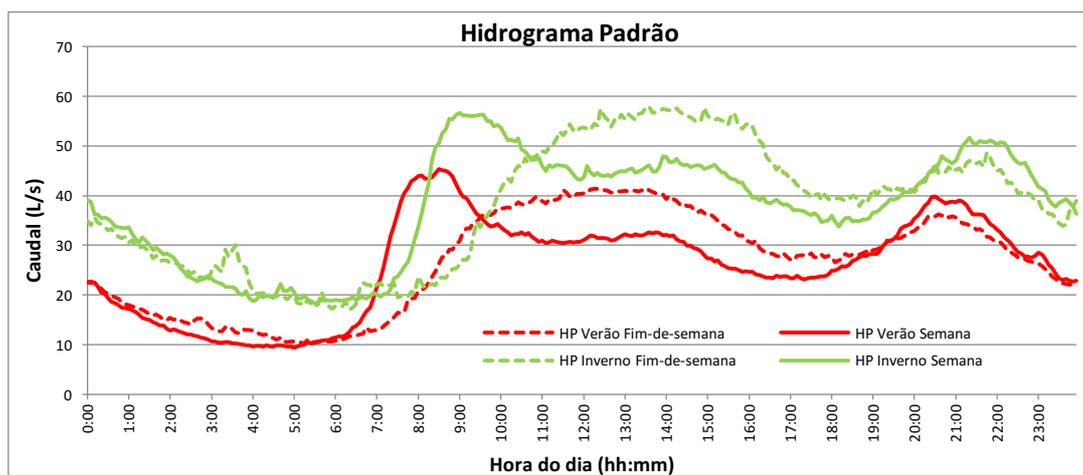


Figura 41 - Hidrograma padrão referente ao período de julho de 2012 a junho de 2013

Estes hidrogramas foram obtidos excluindo os dias de chuva e de maior infiltração e considerando uma diferenciação para os períodos de fim-de-semana, bem como a alternância verão/inverno. Adicionalmente admitiu-se que não houve uma modificação expressiva da população ou da sua afluência à rede, pelo que os hidrogramas-padrão referidos podem ser considerados válidos atualmente.

Analisando, por exemplo, o comportamento diário do caudal medido durante o mês de **junho de 2016**, para o qual se têm 14 dias de registos, identificados pelas 14 séries de valores (de 17 a 30 de Junho), é perceptível que a maior “densidade” de valores perfaz um tipo de comportamento bastante doméstico, ou seja, no qual a afluência de águas residuais domésticas à rede é bastante reduzida durante o período noturno até por volta das 7h00 da manhã, quando as pessoas começam a realizar as suas tarefas diárias de higiene e de alimentação, o que cria um período de ponta em termos de caudal afluente à rede até por volta das 9h00 da manhã. Posteriormente o caudal é estabilizado durante

o dia, registando-se novamente um período de ponta de maior utilização ao início da noite, entre as 20h00 e as 21h00, normalmente quando as pessoas regressam a casa, depois de um dia de trabalho (Figura 42).

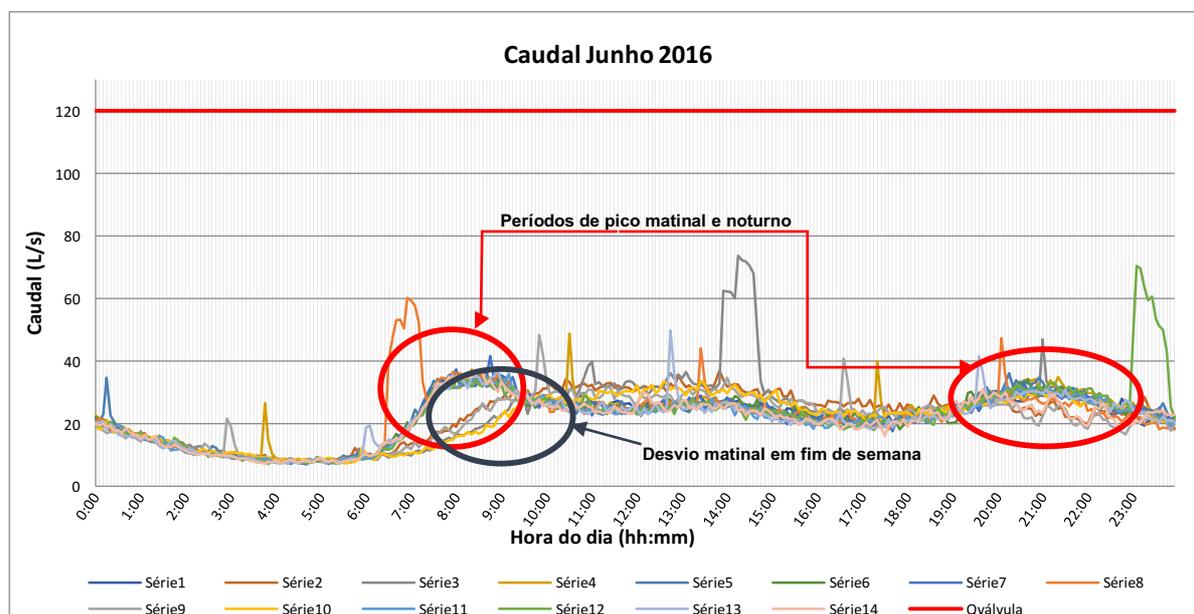


Figura 42 - Dados de caudal registado a jusante da válvula devidamente tratados (junho de 2016)

No que toca à zona do gráfico que corresponde a um desvio do período de ponta da manhã, atrasando-o e atenuando-o, ele é justificável pelo comportamento ligeiramente diferente durante os fins-de-semana, em que a hora de despertar é ligeiramente mais tardia e em que a dispersão horária de afluência à rede é superior, não se verificando uma ponta tão acentuada como nos dias de semana.

Quanto aos três grandes picos, correspondentes a três dias diferentes, em que o caudal chega a atingir os 60-70 L/s, eles correspondem a períodos de precipitação pouco intensa, em que o caudal pluvial gerado se junta ao caudal doméstico existente, tanto devido a ligações indevidas dos ramais prediais à rede doméstica ou a ligações clandestinas.

Contudo, o mês de junho pode considerar-se um mês com carácter predominantemente de tempo seco, no qual se registaram os valores seguintes:

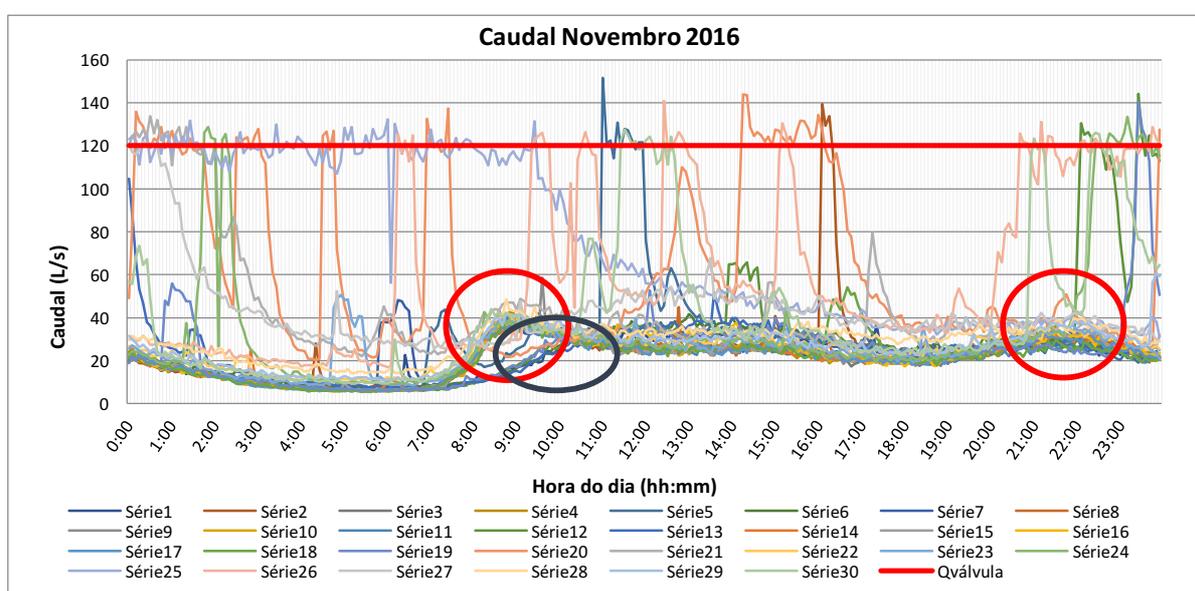
Tabela 19 - Valores de interesse de caudal e de velocidade referentes a junho de 2016

Junho de 2016		Dia de registo
$Q_{\text{médio mensal}}$	22,22 L/s	
$Q_{\text{ponta}}$	73,71 L/s	19 junho
$v_{\text{máx}}$	1,94 m/s	19 junho
$v_{\text{min}}$	0,97 m/s	21 junho

Por comparação dos registos de caudal do mês de junho obtidos a jusante da válvula e considerando o mês de Junho como pertencente ao Verão, observa-se que o comportamento está em tudo de acordo com o hidrograma-padrão anterior, embora registando-se valores de caudal ligeiramente inferiores aos do hidrograma, pelo que, de forma geral, se pode afirmar que em tempo seco o funcionamento da válvula está a ser o pretendido, deixando passar a totalidade do caudal doméstico.

Analisando agora uma situação bastante contrastante com a anterior, referente ao mês de **novembro de 2016**, para o qual se têm 30 dias de registos, é perceptível que, apesar do notório comportamento tipicamente residencial evidenciado pelos períodos de pico matinal e de início de noite, à semelhança do mês de Junho, existem também diversos registos de períodos com durações de várias horas, em que o caudal medido foi da ordem dos 130 – 140 L/s. Tais registos correspondem à ocorrência de períodos de precipitação, alguns deles bastante intensos e prolongados, confirmados pela análise de udómetros (**Figura 43**).

Registam-se assim dois comportamentos distintos no mês de Novembro. Um comportamento do tipo doméstico, com caudais afluentes à rede muito semelhantes aos do mês de junho, e outro comportamento predominantemente pluvial, em que os caudais afluentes à rede são muito superiores aos domésticos.



**Figura 43 - Dados de caudal registados a jusante da válvula devidamente tratados (novembro de 2016)**

Devido à predominância de caudais pluviais face a caudais domésticos, o mês de novembro pode ser caracterizado como predominantemente de tempo húmido, no qual se registaram os seguintes valores:

**Tabela 20 - Valores de interesse de caudal e de velocidade referentes a novembro de 2016**

Novembro de 2016		Dia de registo
$Q_{\text{médio mensal}}$	29,85 L/s	
$Q_{\text{ponta máx}}$	151,48 L/s	5 novembro
$v_{\text{máx}}$	2,54 m/s	5 novembro
$v_{\text{mín}}$	0,91 m/s	10 novembro

Quanto aos restantes meses de registos, toda a informação tratada pode ser consultada em anexo a este documento (**Anexo C.1 e C.2**), destacando-se os seguintes itens:

- Tabelas de dados de Caudal, Altura de água e Velocidade de escoamento;
- Valores de interesse.

### 5.2.1.3 Comportamento da válvula reguladora de caudal

Conforme é possível consultar no **Anexo C.3**, conclui-se que, em termos de caudal máximo a jusante do controlo de caudal do subsistema de Alfolnelos em 12,0% dos dias de análise, foi excedido o caudal de dimensionamento da válvula controladora implementada, sendo que o limite estabelecido era de 120 L/s.

O máximo caudal de ponta registado data de 24 de outubro (mês de comportamento irregular, mas de bastantes ocorrências pluviosas) e foi de 151,7 L/s. Complementarmente indica-se que o período temporal em que se registaram caudais superiores ao de dimensionamento da válvula aconteceu entre o final de outubro e o final de novembro, considerando-se esse como sendo o período crítico do sistema.

Analisando a totalidade dos dados de caudal, apenas em 0,79% dos registos é que se observou um caudal a jusante do controlador superior ao de dimensionamento do equipamento, o que faz supor que, apesar de existirem 21 dias em que se ultrapassou tal limite, o intervalo de tempo desses acontecimentos foi de curta duração.

Uma estimativa consiste em admitir que os 0,79% da totalidade de registos, com intervalo de 5 minutos entre si, de caudal superior a 120 L/s, ocorreram todos nos 21 dias em que foi ultrapassado o caudal de dimensionamento (período crítico), assumindo-se que cada dia de registos corresponde a uma variável estatística e que todas as variáveis estatísticas são linearmente independentes entre si. Sendo assim, na totalidade dos 21 dias, o caudal registado foi superior ao de dimensionamento em 1970 minutos, o que corresponde a um período diário de 1H34 de incumprimento do caudal de dimensionamento estabelecido.

Utilizando a informação apresentada no capítulo 4 quanto à incerteza de medição, tinha-se concluído que, ao corresponder este caso de estudo a um cenário do tipo II, a incerteza no valor de caudal será da ordem dos 9%, pelo que, tomando um intervalo de valores de medição, o **período diário de incumprimento do caudal de dimensionamento variará entre 0H12 e 2H43**, o que poderá representar um muito bom comportamento, visto que, apesar de não respeitar em todos os momentos o valor para o qual foi dimensionado o equipamento controlador de caudal, há que ter presente a influência da ocorrência de deposições na câmara da válvula, que prejudica o seu funcionamento.

Admitindo que a curva característica da válvula reguladora de caudal fornecida pelo fabricante descreve corretamente o comportamento da mesma - e não tendo sido possível a obtenção de dados de nível de água a montante das válvulas reguladoras de caudal para ambos os casos de estudo -, surge a hipótese de calcular a altura máxima de água a montante que possa ser meio de análise para o comportamento da válvula.

No caso da bacia de Alfolnelos, que tem uma área de aproximadamente 100 ha., admitindo a utilização da fórmula racional para um período de retorno de 2 anos com um coeficiente adimensional C de 0,4, por não ser uma zona muito urbanizada, o caudal de ponta de cheia será aproximadamente de 7700 L/s. Recorrendo às telas finais da obra, e sabendo que o coletor que aflui à câmara de chegada (DN 400) tem um comprimento de sensivelmente 1630 m e uma pendente de 1,7%, o caudal de secção cheia expectável é de apenas 265 L/s, o que representa cerca de 3,4% do caudal de ponta de cheia.

Analisando o projeto de execução, é possível entender que a cota a meia secção do coletor que descarrega para a linha de água é de 40,10 m. Como a cota de soleira a que se encontra instalada a válvula é de 39,05 m, a altura máxima de água que se poderá atingir na câmara a montante da válvula, antes que seja diretamente desviado caudal para a linha de água adjacente, será de 1,05 m.

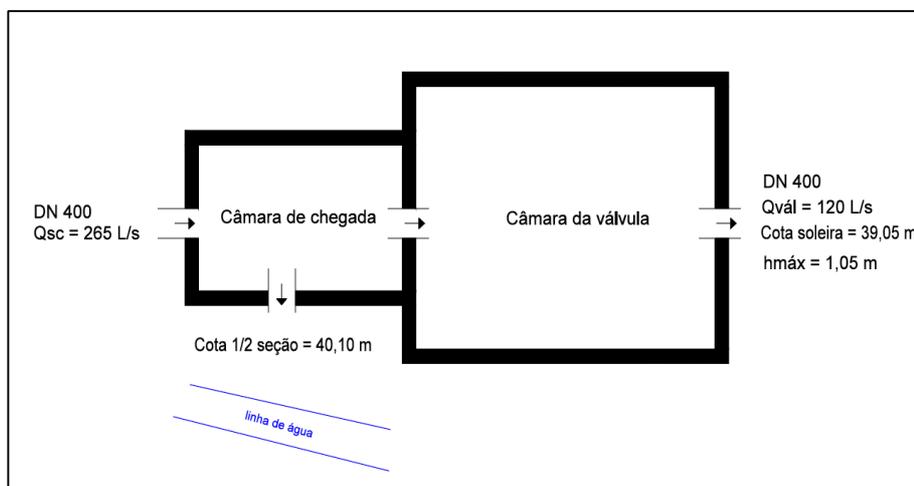


Figura 44 - Esquema da obra de Alforneiros

Pela curva característica fornecida pelo fabricante para a carga de água de 1,05 m (2,625 DR), o caudal que passa para jusante é de exatamente 120 L/s, pelo que, como foi assumido que a curva característica fornecida descreve corretamente o funcionamento da válvula, esse será o máximo caudal que se espera afluir em direção à ETAR e que corresponde ao caudal de dimensionamento pretendido.

### Diagram HydroSlide flowregulator

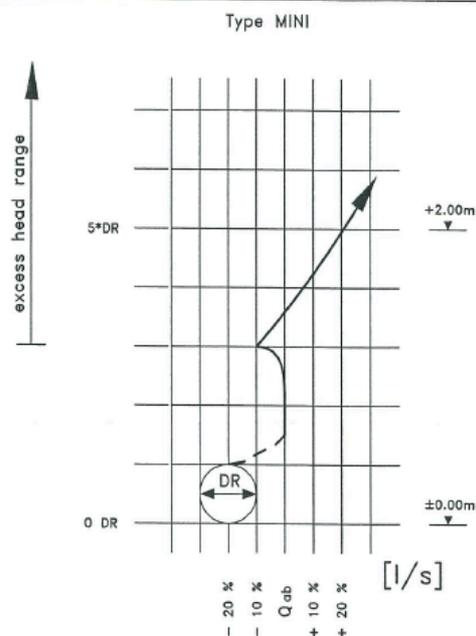


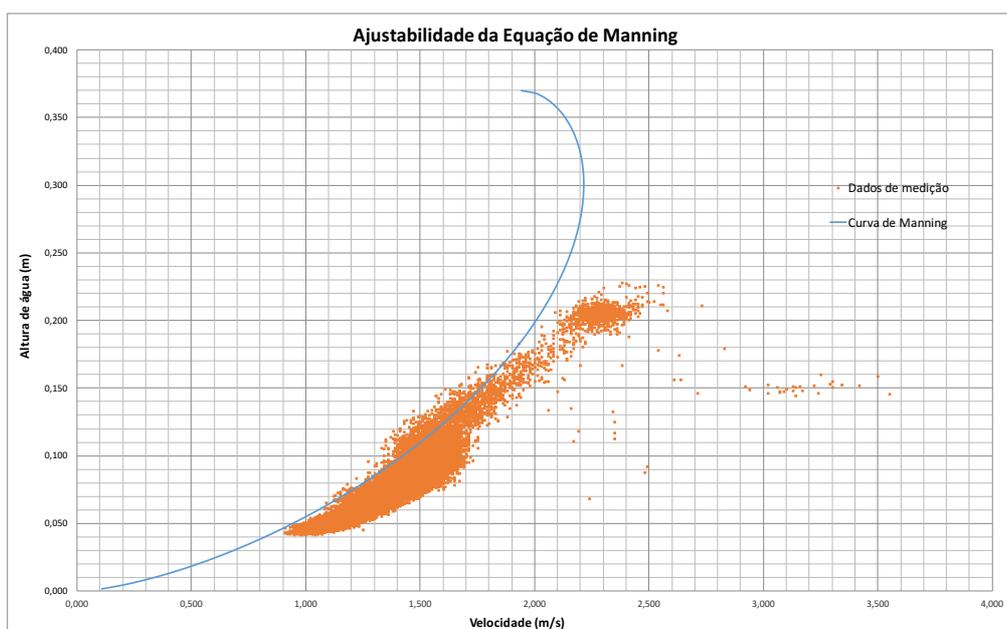
Figura 45 - Curva característica da válvula instalada (fornecida pelo fabricante)

Em adição à análise anterior, recorrendo à **Figura 43** e considerando apenas os dias em que se registaram períodos de precipitação significativa, o valor médio do caudal máximo registado é de 134,46 L/s, o que, para o erro de medição de 9%, está sensivelmente no intervalo de valores

correspondente ao caudal de dimensionamento da válvula, corroborando-se assim a hipótese anterior de se estar perante um comportamento muito bom.

Complementarmente, ao analisar a totalidade dos dados de caudal obtidos pelo equipamento de medição, que, na sua génese, utiliza a equação da continuidade e confrontando-os com a curva teórica que relaciona as grandezas de velocidade e de altura de escoamento aplicando a equação de Manning (**Figura 46**), verifica-se que, para além de os valores obtidos pela fórmula da continuidade estarem bastante de acordo com os valores teóricos, ainda se denota um patamar de estabilização (marcado pela menor densidade de pontos) em que a altura máxima de água de jusante é de cerca de 0,18 – 0,19 m, a que corresponde um caudal de cerca de 100 a 110 L/s (90 a 120 L/s, considerando a incerteza de medição de 9%), concluindo-se que existe um controlo em torno desse valor de caudal que é sensivelmente o caudal de dimensionamento da válvula.

Posteriormente constatou-se existir uma outra mancha de registos, de muito menor dimensão, a qual corresponde às ocasiões em que não se processou um controlo para o caudal definido, chegando-se a alturas de escoamento a jusante de 0,22 m, a que correspondem caudais da ordem dos 140 a 150 L/s (130 a 160 L/s, considerando incerteza de 9%).



**Figura 46 - Ajustabilidade da fórmula de Manning aos dados de medição**

Para além dos erros de medição já considerados, é também verdade que, utilizando-se os registos de nível do sensor ultrassónico o nível determinado pode ser bastante inferior ao real aquando da entrada em carga dos coletores; mas, através de visitas correntes ao local em tempo de chuva, constatou-se que a entrada em carga dos coletores já não era tão frequente como antigamente, pelo que, ultrapassando-se a altura máxima de montante definida em projeto e, conseqüentemente, o caudal de dimensionamento, isso não será por períodos de tempo significativos (tal como comprovaram os dados).

#### 5.2.1.4 Problemas de funcionamento e possível otimização

No caso de estudo da obra de Alfovelos não se evidenciaram problemas relacionados com o funcionamento da válvula reguladora de caudal. Existe apenas um incumprimento pontual em períodos de precipitação em que se verifica a passagem de um caudal para jusante da válvula superior ao de dimensionamento, o que não tem um impacto significativo, visto que esse período de incumprimento é curto e o excesso de caudal é bastante reduzido.

Refira-se que apesar do muito bom comportamento evidenciado, não se têm registos de alturas de água a montante, não sendo possível afirmar de forma segura que o sistema não entra em carga nos dias de maior afluência de caudal. No entanto, recorrendo à análise do projeto de execução e tendo-se calculado uma altura máxima de água a jusante da válvula de 1,05 m e admitindo que o comportamento de controlo é traduzido perfeitamente pela curva característica do equipamento, o caudal para jusante da válvula nunca será muito superior aos 120 L/s (até 131 L/s, considerando um erro de medição de 9%). Através dos dados de caudal do mês de novembro constatou-se que o valor de caudal de ponta registado em dias de chuva era, em média, 134, 46 L/s, o que se aproxima bastante dos 131 L/s, pelo que é possível admitir que a curva característica do fabricante está bastante de acordo com o comportamento evidenciado.

Para além do mais, por parte da entidade responsável pela exploração da rede é defendido que os problemas naquele ponto não são sequer comparáveis à situação anterior, apresentando um comportamento satisfatório.

Comparativamente à situação anterior à construção da obra de Alfovelos, ao analisar os dados do medidor de caudal anteriormente instalado, constata-se imediatamente que o valor de caudal máximo registado diminuiu, consideravelmente, em cerca de 46% (**Tabela 21**).

Tabela 21 - Valores máximos de caudal registados antes da obra e após a obra

Valor máximo de caudal registado	
Antes da realização da obra	Após a realização da obra
280,80 L/s	151,71 L/s

Ainda como meio de comparação, e analisando a totalidade dos registos (que correspondem ao período de 1 de julho de 2012 a 30 de junho de 2013), sabe-se que aquele que viria a ser estabelecido como o caudal de dimensionamento da válvula de 120 L/s é ultrapassado em 3,89% dos registos, com intervalo de 5 minutos. Admitindo-se que a população não sofreu um incremento significativo e que as condições da bacia também não se alteraram de forma relevante, é perceptível que a construção em Alfovelos, com a implementação da válvula reguladora de caudal do tipo flutuador, conseguiu reduzir significativamente o caudal que se escoava para jusante do sistema (**Tabela 22**).

Tabela 22 - Registos superiores ao caudal de dimensionamento da válvula

% de registos superiores ao $Q_{dim}$ da válvula	
Antes da realização da obra	Após a realização da obra
3,89 %	0,79 %

Da parte da entidade responsável pelo funcionamento e pela gestão do sistema de Frietas e da sua ETAR foram apresentadas algumas opiniões relacionadas com as diversas intervenções efetuadas, entre elas a obra de Alfovelos, e os seus impactos notórios.

A grande alteração face à situação anterior é que atualmente existem menos reclamações ao nível do terreno, principalmente pela minimização da frequência da inundação do espaço urbano pela entrada em carga dos coletores, visto que existe agora uma maior capacidade de manter um caudal constante para jusante dos coletores, com a respetiva descarga do caudal pluvial excedente. No entanto, a situação de saturação da ETAR de Frielas perdura, principalmente devido à contribuição do subsistema de Caneças, já que a resolução de problemas numa zona mais a montante do sistema (caso de Alfovelos) permitiu uma maior contribuição de outros coletores mais a jusante. Adicionalmente, como o maior contributo pluvial é agora mais próximo da ETAR, o tempo de concentração é menor do que anteriormente, exigindo-se que a estação tenha uma rápida capacidade de resposta.

Foi também referida a melhoria substancial a nível da entrada em carga dos coletores ao longo do sistema, minimizando bastante os acontecimentos de levantamento das tampas das câmaras de visita e permitindo uma manutenção quinzenal, de características principalmente preventivas e não de reparação.

Quanto ao funcionamento observado das válvulas introduzidas no sistema, em tempo seco apresentaram, sempre que visitadas, um comportamento adequado com a abertura da secção pretendida. No entanto, em período de chuva, com a subida do nível de água na câmara, a observação do funcionamento é mais difícil. Contudo, um facto bastante presente é a quantidade de sedimentos de grandes dimensões que conseguem afluir à câmara durante os acontecimentos pluviosos, tais como: pedras de dimensão significativa e lixo. Tais sedimentos acumulam-se rapidamente na câmara, não permitindo um fecho apropriado da secção por parte da válvula, o que tem impactes a nível de caudal controlado.

Apesar da construção de um poço de grossos, conforme se pode consultar em projeto, a verdade é que este poço se encontra muito a montante da câmara da válvula, antes do atravessamento da estrada, mas que, apesar de parecer ser uma solução bastante funcional que evite o transporte de uma grande quantidade de sedimentos, alguns destes sempre se escoam até à câmara da válvula, que não tem profundidade suficiente para evitar que tais sedimentos se acumulem na frente da secção de descarga. Por este motivo, defende-se a construção indispensável de um poço de grossos antes da câmara da válvula, sendo até mais importante o devido projeto do poço de grossos do que das próprias válvulas. Apesar dos custos de construção inerentes, um segundo poço de grossos bastante simples permitiria otimizar o funcionamento da válvula, reduziria o seu desgaste e permitiria posteriormente uma limpeza mais simples.

Ao nível da empreitada, é, portanto, desejável que a equipa de exploração, que é quem melhor conhece as características do sistema a intervir, seja um membro ativo e participativo com a equipa de projeto, de forma a privilegiar as maiores necessidades do sistema face a condicionantes já identificadas.

## 5.2.2 Bacia de Caselas, sistema de Alcântara

### 5.2.2.1 Obtenção dos dados de medição

No caso da obra de Caselas, o equipamento instalado é mais recente que o utilizado em Alfoanelos, tendo-se pensado numa solução mais adequada às condições do escoamento. Devido ao grande diâmetro do coletor, a altura de escoamento é bastante reduzida, mesmo em tempo de chuva, razão pela qual a medição do nível de água e da velocidade do escoamento não é tão precisa como no caso de Alfoanelos, utilizando-se as metodologias e equipamentos atrás descritos. Para além do mais, apesar da reduzida altura de escoamento, a sua velocidade é bastante considerável, sendo impossível obterem-se perfis de velocidade que relacionassem a velocidade superficial com a velocidade média necessária ao cálculo do caudal.

Por esse motivo, o equipamento instalado foi desenvolvido por uma empresa bastante consagrada no ramo da eletrotécnica, tendo por nome “*Flo-Dar Flow Measuring System*”. Este equipamento baseia-se no princípio da determinação de velocidades por aplicação do efeito de Doppler recorrendo à técnica de radar; porém, são utilizados algoritmos bastante complexos, que englobam fatores inerentes ao escoamento, para a obtenção do valor de velocidade média, que é diretamente aplicado posteriormente à equação da continuidade para obtenção do caudal retornado pelo equipamento de medição (Marsh-McBirney, 2005).

Os fatores de obtenção dos algoritmos dependem essencialmente da relação entre a profundidade de água e o diâmetro do trecho de coletor, sendo que estabelecendo diversas relações entre ambos os parâmetros, é possível definirem-se diversos perfis de “isovelocidades”, os quais proporcionam o conhecimento do valor de velocidade média por parte do medidor, obtendo-se um valor de caudal que seria impossível ser determinado recorrendo a outro equipamento, por não se conseguirem determinar no terreno os perfis de velocidades necessários (Figura 47).

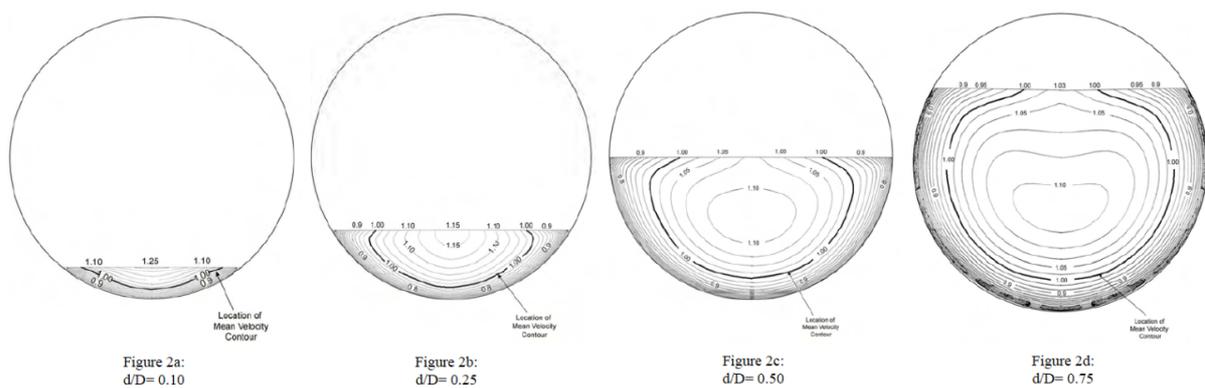


Figura 47 - Perfis de velocidades para relações entre nível de água e diâmetro de coletor (McBirney, 2005)

Através dos perfis de “isovelocidades” representados é possível concluir-se que, para diferentes alturas de água no interior do coletor, a relação entre a velocidade superficial calculada por efeito de Doppler e a velocidade média necessária à fórmula da continuidade, é tanto mais amplificada quanto menor for a altura da lâmina de água (Marsh-McBirney, 2005). Para o caso de Caselas, em particular, em que mesmo em tempo de chuva a altura de água no coletor perfaz uma relação entre 0,10 e 0,15  $d/D$ , a velocidade média é cerca de 80% a 87% da velocidade superficial, o que, para efeitos de cálculo

de caudal, tem um impacte significativo em comparação com a hipótese de utilização de outro tipo de equipamento que considere a velocidade superficial como sendo aproximadamente igual à velocidade média, visto que a obtenção de perfis de velocidade diretamente no local seria totalmente inconcebível, devido à impossibilidade de uma leitura através de uma vara de velocidades para uma altura de escoamento tão baixa e com uma velocidade tal que criaria um efeito de ressalto da água na vara.

Adicionalmente, é importante entender que, no caso de Caselas, a incerteza de medição será ligeiramente inferior aos 9%, considerados para o equipamento utilizado em Alfoanelos, porque não se recorreu a perfis de velocidades calculados manualmente, mas sim utilizando o medidor *Flo-Dar*, o qual, conforme se referiu anteriormente, utiliza algoritmos próprios para o cálculo da velocidade média, o que confere uma maior redundância aos valores obtidos face àqueles que são utilizados para o estudo do caso de Alfoanelos, utilizando o modelo de medidor *ADS Flowhawk*.

### 5.2.2.2 Análise de dados de medição

A análise preconizada foi em tudo idêntica à anteriormente referida para o caso da bacia de Alfoanelos, sistema de Frielas. Novamente, a primeira preocupação de análise foi a identificação de comportamentos, de forma a concluir se as variações de caudal seriam plausíveis. Para tal, embora não dispondo do hidrograma-padrão da bacia anteriormente à obra, por não existirem equipamentos de medição de caudal à data, foi considerada a hipótese de ela ter um comportamento diário idêntico à do caso de Alfoanelos, mas para uma gama de caudais inferior.

De forma a manter uma coesão de análise com o apresentado anteriormente para a bacia de Alfoanelos, procedeu-se ao estudo do comportamento diário do caudal medido durante o mês de **junho de 2016**, para o qual se têm 30 dias de registos, identificados pelas 30 séries de valores, (**Figura 48**).

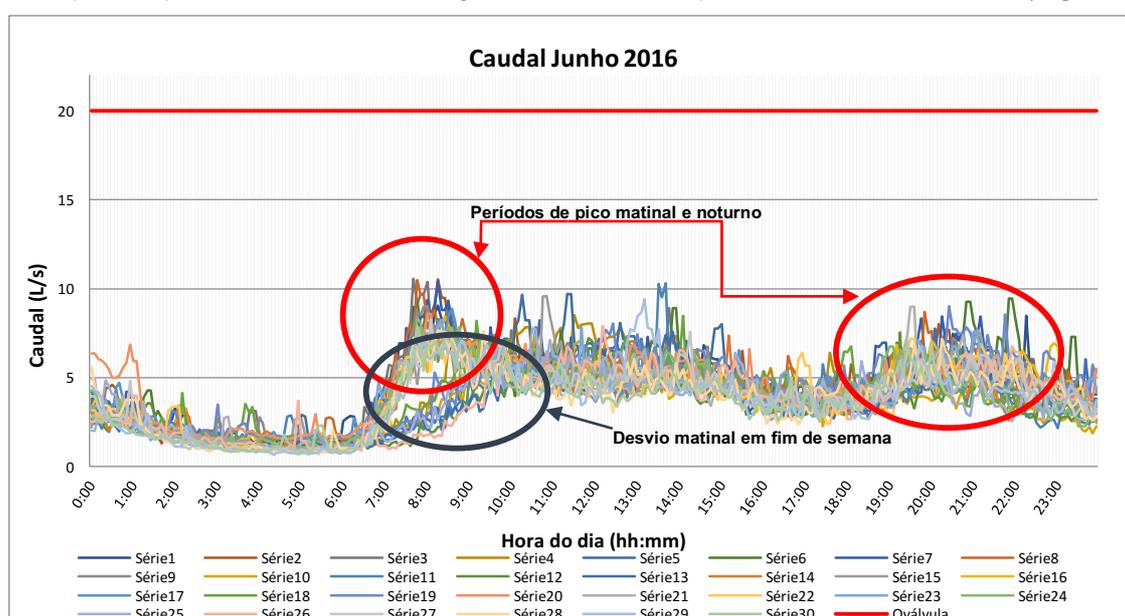


Figura 48 - Dados de caudal registados a jusante da válvula devidamente tratados (junho de 2016)

É perceptível que a maior “densidade” de valores perfaz, também para o caso de Caselas, um tipo de comportamento bastante doméstico, ou seja, no qual a afluência de águas residuais domésticas à rede é bastante reduzida durante o período noturno, até por volta das 7h00 da manhã, altura em que se observa um período de ponta em termos de caudal afluente até por volta das 9h00. Posteriormente, o

caudal é estabilizado durante o dia e regista-se novamente um período de ponta entre as 20h00 e as 21h00. No que toca à zona do gráfico que corresponde a um desvio do período de ponta da manhã, atrasando-o e atenuando-o, é justificável pelo comportamento ligeiramente diferente durante os fins-de-semana já explicado anteriormente.

De forma bastante segura pode afirmar-se que o mês de junho demonstra um comportamento de tempo seco, tal como sucedia para a bacia de Alfornelos, para o qual se registaram os valores seguintes:

Tabela 23 - Valores de interesse de caudal e de velocidade referentes a Junho de 2016

Junho de 2016		Dia de registo
$Q_{\text{médio mensal}}$	3,98 L/s	
$Q_{\text{ponta máx}}$	10,57 L/s	3 junho
$v_{\text{máx}}$	2,04 m/s	17 e 18 junho
$v_{\text{min}}$	0,59 m/s	22 junho

Como forma de comparação, note-se que, para o caso do emissário de Caselas, o caudal máximo registado para o mesmo mês de análise que para o coletor de Alfornelos foi de 10,57 L/s, cerca de 14% do caudal registado em Alfornelos (73,71 L/s), tendo em conta que as bacias referidas se encontram afastadas entre si cerca de 9 km. Tal facto faz tirar conclusões acerca da grande diferença de volumes transportados por cada um dos sistemas estudados e permite, de antemão, a constatação de que, possivelmente, seria necessário adotar diferentes tipos de soluções controladoras de caudal, conforme se verificou.

Analisando agora uma situação contrastante com a anterior, referente ao mês imediatamente anterior (**maio de 2016**), para o qual se têm 31 dias de registos (**Figura 49**), é perceptível que, apesar do notório comportamento tipicamente residencial evidenciado pelos períodos de pico matinal e noturno, existem também diversos registos de períodos, com durações de várias horas, em que o caudal medido foi da ordem dos 25 L/s. Tais registos correspondem à ocorrência acontecimentos pluviosos, devidamente confirmados pela análise de udómetros.

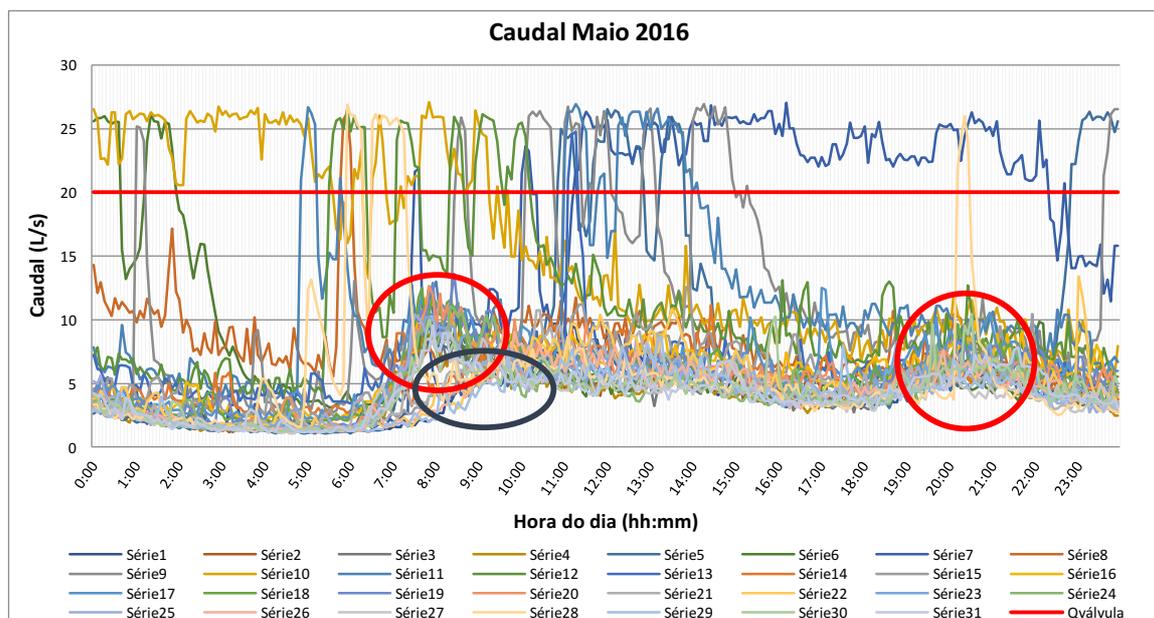


Figura 49 - Dados de caudal registados a jusante da válvula devidamente tratados (maio de 2016)

Uma vez mais é possível distinguir dois tipos de comportamentos, de ocorrência simultânea, durante um mesmo mês de registos, podendo, pois, classificar-se o mês de maio de 2016 como predominantemente de carácter de tempo húmido, devido, em parte, à grande contribuição pluvial verificada. Adicionalmente apresentam-se os valores de interesse decorrentes do estudo efetuado:

Tabela 24 - Valores de interesse de caudal e de velocidade referentes a Maio de 2016

Maio de 2016			Dia de registo
$Q_{médio\ mensal}$	6,38	L/s	
$Q_{ponta\ máx}$	27,09	L/s	10 maio
$v_{máx}$	3,00	m/s	8 maio
$v_{mín}$	0,74	m/s	3 maio

Quanto aos restantes meses de registos, eles podem ser consultados nos **Anexos C.4 e C.5**.

### 5.2.2.3 Comportamento da válvula reguladora de caudal

Em termos de comportamento da solução de válvula vórtice preconizada, conclui-se que, quanto ao caudal máximo a jusante da seção de controlo do subsistema de Caselas, em 20,83% dos dias de análise foi excedido o caudal de dimensionamento da válvula de controlo de caudal indicado em projeto de 20 L/s.

O valor máximo de caudal de ponta registado foi de 27,59 L/s em 16 de abril, sendo que o período temporal em que se registaram caudais superiores ao de dimensionamento, denominando-se assim como o período crítico para o subsistema em causa, refere-se aos meses de abril e de maio.

Utilizando a totalidade dos valores de caudal provenientes dos registos obtidos, constata-se que em apenas 2,57% dessa totalidade de registos é que foi excedido o caudal de dimensionamento pretendido ser controlado pela válvula instalada. Tal percentagem faz supor que, apesar dos 20 dias em que foi ultrapassado o caudal de 20 L/s, o período diário de excedência foi de curta duração, tal como aconteceu no caso da bacia de Alfornelos apresentado anteriormente.

Uma vez mais, admitindo a estimativa que consiste em aceitar que os 2,57% dos registos com intervalos de 5 minutos ocorreram todos nos 20 dias de caudal superior ao de dimensionamento, conclui-se que tal período de excedência de caudal foi de 3545 minutos, o que corresponde a um período diário de 2H57 de incumprimento do caudal de dimensionamento estabelecido. Tais verificações podem ser consultadas no **Anexo C.6** a este documento.

Novamente considerando a incerteza de medição, conforme exposto no capítulo 4, e considerando uma incerteza menor do que 9% (5% neste caso), visto que o equipamento *Flo-Dar* assegura uma maior segurança no cálculo da velocidade média, o **período diário de incumprimento do caudal de dimensionamento variará entre 2H47 e 3H05**, o que já não apresenta a mesma excelência do caso da obra de Alfornelos, visto que, no caso de Caselas, trabalha-se com caudais muito inferiores e verificam-se períodos de incumprimento superiores, sendo desejável e até necessário um maior controlo do que para caudais mais elevados, tendo ainda em conta que a câmara de receção de caudal funciona também como poço de grossos, antes da entrada de caudal para o troço em flange de chegada à válvula, assegurando-se assim que não existirão detritos de grande dimensão nem em grande quantidade.

Como forma de calcular a altura máxima de água a montante da válvula, por não ter sido possível efetuar-se uma medição *in situ* em dias de precipitação intensa, como já referido anteriormente, admitiu-se novamente que a curva característica da válvula reguladora de caudal do fabricante retrata corretamente o comportamento do controlador.

Admitindo que a curva característica da válvula reguladora de caudal fornecida pelo fabricante descreve corretamente o comportamento da mesma, e não tendo sido possível a obtenção de dados de nível de água a montante das válvulas reguladoras de caudal para ambos os casos de estudo, existe a hipótese de calcular a altura máxima de água a montante, altura essa que possa ser meio de análise para o comportamento da válvula.

Assim sendo, utilizando o procedimento de cálculo referido no anterior caso de estudo, o caudal de secção cheia expectável afluir à câmara de controlo de caudal pelo coletor unitário DN 400 com pendente de 5,5% é de 476 L/s

Uma vez mais, fazendo uma análise simples do projeto de execução, contata-se que na câmara de chegada existe um murete que procede à descarga do excesso de caudal quando a altura do escoamento supera os 45,05 m, ou seja, a uma altura de 0,60 m. Visto que o caudal de dimensionamento da válvula é de 20 L/s, o caudal máximo que se poderá ter de descarregar através de um tubo curto para a câmara de descarga, e daí para a linha de água, é de 456 L/s.

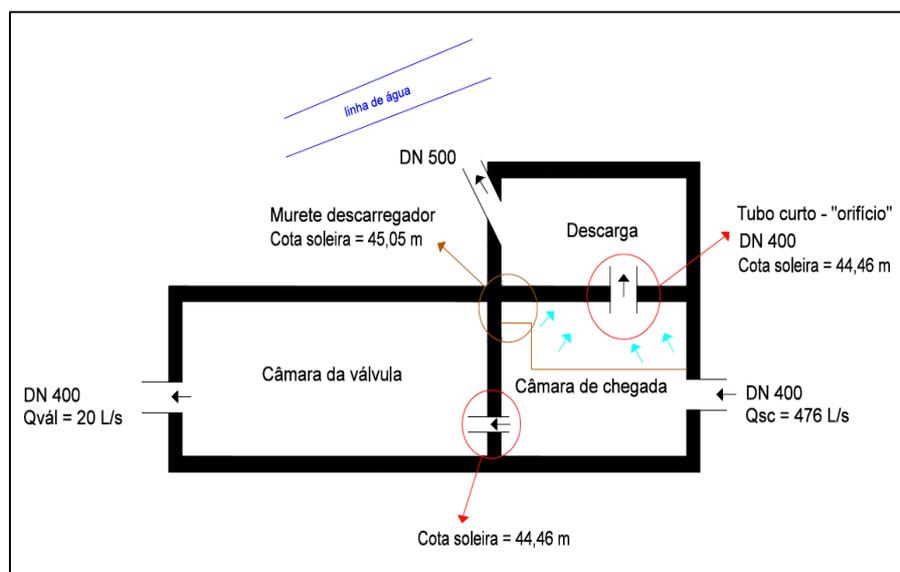


Figura 50 - Esquema da obra de Caselas

Através da expressão para orifícios livres (Quintela, 2014):

$$Q = C A \sqrt{2 g H} \quad (5.1)$$

Considerando  $C = 0,60$  e  $H$  referente à altura da meia secção do orifício, a altura máxima de água sobre o eixo do tubo curto será de 1,80 m. Visto que a cota de soleira da válvula é a mesma que a do tubo curto, a altura máxima a montante da válvula será de 1,80 m.

Pela curva característica fornecida pelo fabricante, para uma altura de água de 1,80 m, o caudal que passa para jusante é de cerca de 34 L/s, pelo que, como foi assumido que a curva característica

fornecida descreve corretamente o funcionamento da válvula, esse será o máximo caudal que se espera afluir em direção à ETAR e que é superior aos 20 L/s que a válvula deveria controlar.

Da mesma forma como se procedeu para o caso de estudo anterior, recorrendo aos registos de caudal do mês de Maio, e analisando apenas os dias com precipitação significativa, o valor médio do caudal máximo registado foi de 25,18 L/s, valor que, para um erro de medição de 5%, já se encontra fora do intervalo de valores correspondente ao caudal de dimensionamento da válvula. Esta constatação leva a crer que, apesar de o comportamento da válvula ser bastante aceitável, não é tão bom como no caso da obra de Alfoanelos.

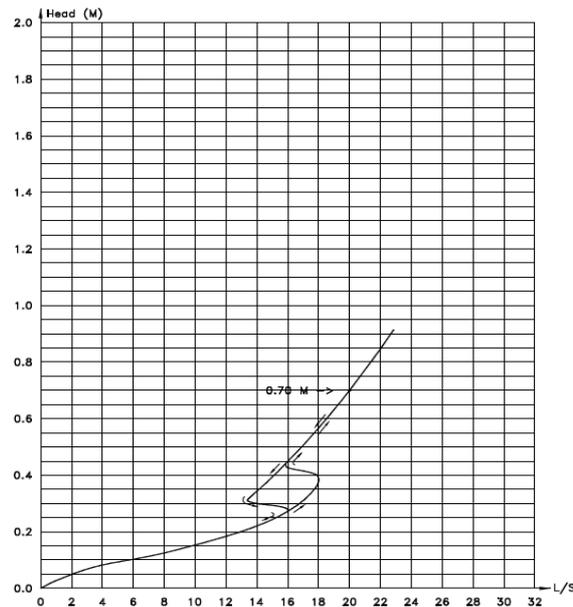


Figura 51 - Curva característica da válvula de Caselas (fornecida pelo fabricante)

Mais uma vez, ao confrontar os registos obtidos com aqueles que seriam obtidos pela equação de Manning (**Figura 52**), verifica-se existir uma semelhança de comportamento que, para além do mais, denota um patamar de estabilização a uma altura de água a jusante de 0,055 m, a que corresponde um caudal na ordem dos 28 L/s (26,6 a 29,4 L/s, considerando incerteza de 5%), acima do caudal de dimensionamento da válvula.

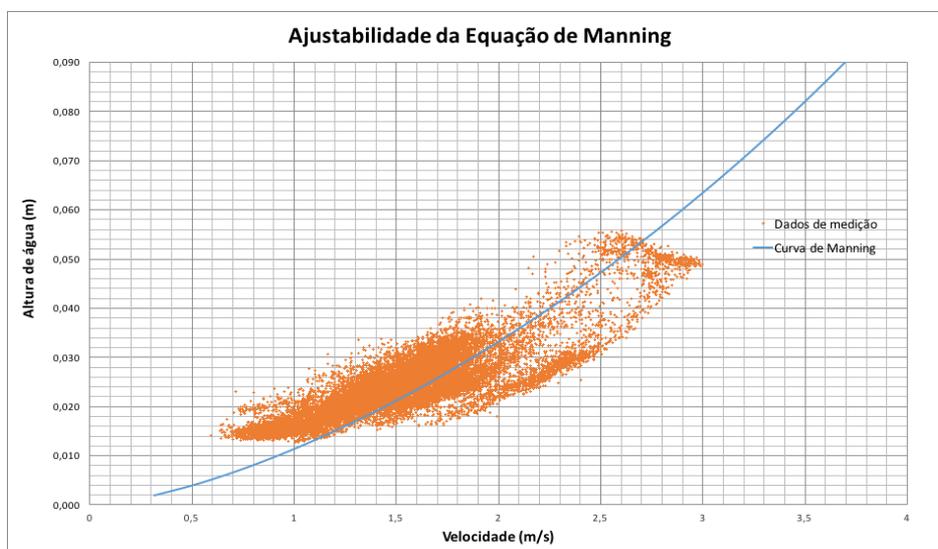


Figura 52 - Ajustabilidade da equação de Manning aos dados de medição

No entanto, também é possível verificar que existe um controlo, apesar de muito menos expressivo do que no caso de Alfornelos, para uma altura de água de cerca de 0,045 m, a que corresponde um caudal para jusante de 18 L/s (17,1 a 18,9 L/s, considerando incerteza de 5%), podendo concluir-se, numa primeira abordagem, que, apesar de realmente existir uma regulação de caudal em torno do valor de dimensionamento, tal regulação não é tão eficaz como no caso analisado anteriormente.

#### **5.2.2.4 Problemas de funcionamento e de otimização**

No caso de estudo da bacia de Caselas verificou-se poder existir uma problemática devido ao facto do caudal de dimensionamento da válvula vórtice ter sido excedido em 20 dias de registos.

Tendo em atenção a constatação de que, no caso de Caselas, o funcionamento da válvula não é tão afetado pela deposição de sedimentos como no caso de Alfornelos, não se torna tão aceitável que exista um incumprimento do valor de dimensionamento da válvula tão acentuado, muito menos por se tratar de uma gama de caudal inferior, que deveria ter um controlo muito mais preciso do que para os casos de maior caudal, em que se utilizam válvulas do tipo flutuador. Contudo, é possível afirmar que o funcionamento da válvula, não sendo perfeito, é pelo menos satisfatório.

Ao analisar-se também, na figura anterior, a qualidade de controlo, percebeu-se que o controlo de caudal mais expressivo se situa por volta dos 26,6 a 29,4 L/s, o que corrobora o exposto no parágrafo anterior.

Colocando-se a hipótese de o equipamento instalado não ser o mais indicado para a situação. A realidade é que o modelo instalado foi uma válvula vórtice *CYDX*, que é indicada para caudais a partir dos 25 L/s; e o caudal de dimensionamento indicado em projeto era de 20 L/s. O modelo mais indicado seria, porventura, o *CYDK*, que é recomendado para caudais de água dos 8 aos 80 L/s, e, que para além do mais, pode ser ajustado para um tubo de saída reto ou com mudanças de direção, permitindo ainda, depois de instalado, uma alteração de controlo na ordem dos 10 a 25%, o que, no caso do modelo instalado, não é possível.

Pensa-se que, o facto de em projeto não existir a possibilidade de indicação do modelo a adotar, pode ter condicionado a opção pelo modelo instalado, acontecendo que a empresa fornecedora sugeriu um modelo que não se adaptava totalmente às condições do escoamento, sendo essa a principal crítica resultante da análise efetuada.

### **5.3 Problemas de conceção e de manutenção e sua possível resolução**

Com o intuito de se obter informação sobre o possível mau funcionamento do equipamento, mas também de possíveis dificuldades recorrentes de um mau projeto e/ou conceção de toda a obra em que se instalaram até à data válvulas reguladoras de caudal, foram abordadas as equipas de exploração e os projetistas intervenientes em algumas das obras da SIMTEJO.

A instalação de válvulas controladoras de caudal veio substituir os tradicionais descarregadores. A primeira a ser instalada foi no sistema de Beirolas, que se revelou problemática, por se tratar de uma válvula mural, a qual tinha constantemente problemas de obstrução do orifício de passagem do escoamento, tal como se revelou também acontecer com os modelos de flutuador instalados noutros locais, que não tinham sido projetados com um poço de grossos suficientemente grande para impedir

que sedimentos de maiores dimensões obstruíssem a secção de passagem. Nesse seguimento começou-se a solicitar-se, a nível de projeto, a implementação de válvulas do tipo vórtice, sendo que atualmente se tem optado por uma solução vórtice a montante das ETAR e por soluções flutuador à entrada de estações elevatórias, sem grande diferenciação.

Surge então a grande problemática do controlo de funcionamento dos equipamentos vórtice, por não ser visível, em todos os instantes, o controlo que está evidentemente a acontecer, sendo que apenas se conseguem obter medições a jusante e a montante do equipamento, concluindo se existe controlo, mas sem conseguir efetivamente observar toda a evolução do comportamento do caudal em função da altura de água a montante, tal como os fornecedores indicam pelas curvas características fornecidas aos projetistas. Devido a isso, no caso de Frielas a opção passou por um equipamento do tipo flutuador, por ser diretamente mais fácil a observação do seu funcionamento.

Contudo, também as válvulas por flutuador, especialmente as laterais, apresentam problemas diretamente ligados à acumulação de sedimentos e de gorduras em tempo seco, a qual impossibilita uma passagem correta de caudal doméstico. Por esse motivo, é essencial um bom dimensionamento do poço de grossos, o que muitas vezes é esquecido, daí resultando problemas notórios, e também uma manutenção regular do equipamento também em tempo seco, e não só quando se observa uma chuvada intensa. Tal manutenção deve contemplar a remoção dos sedimentos depositados no poço de grossos e a eliminação de gorduras, o que para um controlador do tipo flutuador é efetuado de forma simples e direta.

A prática usual de manutenção deve passar pela identificação dos pontos críticos do sistema, devendo esses merecer a melhor atenção por parte da equipa de exploração, verificando com uma regularidade semanal, em tempo seco, se não existem entupimentos e realizando pelo menos mensalmente a limpeza total da câmara de retenção e do poço de grossos com hidrolimpadoras de sucção e de pressão, que têm um custo estimado de 65€/hora (S/IVA), demorando este processo em média, para situações correntes, cerca de uma hora. Destaca-se que a necessidade de intervenção e de manutenção não depende do tipo de válvula em si, mas sim do tipo de bacia que lhe está associada e da existência ou não de uma câmara de retenção; mas, no entanto, observa-se que as válvulas do tipo vórtice sofrem usualmente mais entupimentos do que as do tipo flutuador, possivelmente pelo seu processo de funcionamento, que envolve fases de acumulação de ar e criação de vórtices que podem criar uma pressão tal que potencie o arrastamento de sedimentos para o seu interior.

Antevendo possíveis erros de projeto e de conceção, é desejável que a equipa de exploração, que é quem melhor conhece a rede, participe em todo o processo até ao dia da aceitação da obra, o que normalmente não se pratica, devido à complexidade de comunicação entre todos os intervenientes. Porém, certamente seriam evitados muitos erros que são cometidos.

Tem particular interesse compreender que a instalação de uma válvula engloba um grande investimento, sendo que, depois de instalada, não há forma de se otimizar o seu processo, podendo apenas fazer-se pequenas afinações, as quais normalmente envolvem uma necessidade de contacto com as empresas fabricantes ou o aumento da regularidade de limpeza, pelo que todo o projeto e sua conceção têm de ser rigorosos com as condicionantes de cada um dos casos. A melhor solução será sempre optar pelo mais simples possível, tanto a nível de principio de funcionamento como de

manutenção, pelo que as válvulas do tipo flutuador parecem ser as mais indicadas. A par disso, convém projetar e construir sempre com um sistema de *bypass* funcional e rigoroso, bem como com um poço de grossos adequado.

Outras problemáticas prendem-se com a opção por controladores do tipo flutuador protegidos por um caixote exterior, o que frequentemente é opção do projetista, quando se trata do controlo de caudais elevados, como os modelos *Combi* e *FlatFlow* e também do modelo *ALPHEUS AT*, visto que, devido ao facto de o mecanismo se encontrar dentro do caixote protetor, as suas manutenção e limpeza são dificultadas por ser necessário remover-se a proteção, o que muitas vezes é menosprezado. Sugere-se então que a sua utilização seja só mesmo considerada para caudais muito elevados, notificando as equipas de limpeza da particular necessidade de atenção nesses casos e, para caudais mais reduzidos, usar progressivamente modelos de flutuador lateral ou frontal, consoante o caudal.

Um problema usual a nível de fabricação prende-se com a utilização de um aço inoxidável 316L, que é muito mais resistente do que um aço 304, que apresenta um grande desgaste para águas residuais, pelo que é necessária a indicação em projeto da fabricação da válvula em aço 316L.

Infelizmente, nota-se que, devido ainda à pouca prática por parte dos empreiteiros em lidar com este tipo de equipamentos, eles orientam-se “cegamente” pelo que os fornecedores sugerem para os critérios de caudal e altura de água solicitados, o que muitas vezes resulta na instalação de uma válvula diferente da definida antes, que até pode ser indicada para os caudais e altura presentes no caderno de encargos mas que necessitariam da consideração de uma câmara de instalação e retenção totalmente diferentes.

A nível da manutenção, também não é conhecido muito mais do que aquilo que é indicado pelo fornecedor aquando da entrega do equipamento, motivo pelo qual, quando se necessita de um maior ajuste do funcionamento do mesmo, surge uma forte dependência do fornecedor, englobando custos que poderiam ser evitados se já existisse um maior conhecimento dos equipamentos.

Muitos dos problemas evidenciados não se prendem exatamente com um mau projeto, mas sim com a realização de uma obra deste porte em zonas nas quais não se tem por base uma boa informação sobre o funcionamento hidráulico, não se solucionando o problema do excesso pluvial conforme seria desejável e utilizando-se recursos financeiros que poderiam ser utilizados em outros pontos críticos.

Uma limitação, e talvez o principal problema do tipo de funcionamento de todos os controladores em mercado, prende-se com a não consideração do critério “Qualidade”, o qual deveria ser a base de obras futuras. Quer isto dizer: balancear se o caudal conduzido às ETAR até  $2Q_p$  ou  $6Q_m$  é adequado, visto que a carga poluente até pode ser tal que não se justifique o seu tratamento, desaguando diretamente na linha de água adjacente.

Outros problemas de conceção surgem devido ao desconhecimento das condições a montante das obras, tais como: ramais mal ligados, ligações clandestinas e um incompleto cadastro da rede, que levam a uma conceção que não se verifica ser adequada após a instalação das válvulas controladoras de caudal, as quais, apesar de terem sido um grande investimento, não solucionaram a principal problemática existente.

## **CAPÍTULO 6:**

# PRINCIPAIS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

## FUTURAS

---

Nos sistemas de drenagem unitários, e na maioria dos separativos, verifica-se a afluência de caudais pluviais ou freáticos, frequentemente designados por afluências indevidas, que acarretam custos elevados de tratamento e, por vezes, resultam num desempenho hidráulico e ambiental deficiente do próprio sistema. Nestas situações, é comum recorrer-se à regulação do caudal para um valor pré-definido, limitando as afluências ao sistema em “alta” e descarregando os caudais em excesso, frequentemente acima de 2 a 3 vezes o caudal de ponta de tempo seco, para as linhas de água.

A regulação para um caudal pré-definido, desde os vários coletores que transportam água residual doméstica até às ETAR, tem sido progressivamente melhorada, através da evolução de equipamentos mecânicos, designadamente pelas válvulas reguladoras de caudal.

De forma simplificada, as válvulas reguladoras de caudal são maioritariamente mecânicas e de dois tipos (as do tipo flutuador e as do tipo vórtice); sendo que começaram também a existir no mercado modelos elétricos e eletrónicos. O seu processo de funcionamento é distinto, mas têm, em todo o caso, como objetivo final, obter a jusante, um caudal que seja igual ou inferior ao seu caudal de dimensionamento, o qual dependerá da altura de água a montante da mesma.

Aquando da fase de projeto existe ainda alguma incerteza sobre qual a melhor solução de equipamento a utilizar para cada caso, sendo que, para ser possível adotarem-se melhores soluções em projetos futuros, é necessário primeiramente aprofundar o conhecimento sobre o funcionamento dos modelos já instalados.

O estudo em causa visou a avaliação da eficácia das soluções preconizadas em duas obras realizadas no distrito de Lisboa, de forma a definir argumentos válidos e fundamentados que permitam decidir sobre qual o melhor tipo de válvula a aplicar a cada caso de intervenção.

O que se tem verificado é que, devido à falta de informação e relativa falta de experiência sobre as válvulas reguladoras de caudal, a opção dos projetistas tem sido muitas vezes optar por uma solução já utilizada em projetos anteriores que se assemelhem ao projeto em desenvolvimento, o que tem estagnado a utilização de novos modelos que poderão ser significativamente mais vantajosos.

Desta forma, numa primeira fase procedeu-se à clarificação das principais ofertas de mercado, de modo a expor os respetivos processos de funcionamento e critérios base de dimensionamento e a adequar cada solução aos condicionamentos de cada projeto.

Acompanhou-se, ainda, as equipas de exploração da rede de modo a compreender, dado ao comportamento em tempo real das válvulas reguladoras de caudal, em especial as do tipo vórtice e em câmara húmida, as principais dificuldades operacionais.

A principal problemática evidenciada nas visitas efetuadas aos locais em estudo prendeu-se com a acumulação de sedimentos, por vezes de grande porte, na frente da secção de passagem

das válvulas. Também da parte das entidades exploradoras da rede este facto foi referido. É evidente que existe uma manutenção regular das câmaras onde se inserem as válvulas; porém tal manutenção tem uma frequência que não é diária, muitas vezes nem semanal. Durante esse período de tempo, os sedimentos fazem com que o processo de abertura/fecho da secção de descarga não seja totalmente cumprido, em especial para as válvulas do tipo flutuador, as quais, para além do mais, funcionam para maiores caudais.

Por este motivo uma conclusão retirada após todo o estudo foi a de recomendar que o projeto de execução incluía um poço de grossos/câmara de retenção que permitam a acumulação de sedimentos, de todas as dimensões, durante um período de tempo que esteja de acordo com a regularidade das visitas de manutenção e de limpeza, de forma a não existir perturbação do funcionamento do equipamento porque, para além de não se conseguir obter a operacionalidade pretendida, também resultará um desgaste mais rápido das válvulas, envolvendo custos.

Particularizando os dois casos de estudo abordados nesta dissertação, partindo-se de um pressuposto inicial de que um deles se pensava ter um funcionamento desejável e o outro um funcionamento deficitário, conclui-se no final que ambos são operacionalmente bastante adequados.

Embora não tendo sido possível, durante o período de desenvolvimento desta tese, obterem-se medições do nível de água a montante em tempo de chuva para ambos os casos de estudo, conseguiram-se levantar hipóteses bem fundamentadas sobre o funcionamento das válvulas, tendo por base um intervalo de valores de caudal que se admite afluir aos reguladores em tempo de chuva e os valores de caudal medidos a jusante das válvulas. Tais hipóteses levaram a conclusões sobre o funcionamento das mesmas, destacando-se uma operacionalidade quase perfeita no caso de Alfovelos e bastante satisfatória no caso de Caselas.

Adicionalmente, destaca-se que, para a obra de Caselas, apesar do comportamento bastante satisfatório apresentado, este poderia ser melhorado se, aquando da fase de projeto, fosse possível a indicação clara de qual o modelo de equipamento pretendido ou, que tivesse existido, por parte da empresa fornecedora, um maior rigor na sugestão de por qual regulador optar, o que, não acontecendo, levou à instalação de um modelo vórtice, que trabalha essencialmente para caudais superiores ao pretendido.

Sugere-se que, num futuro próximo, se analisem diferentes casos de estudo com o auxílio de medições de caudal a montante das válvulas em tempo de chuva, se possível durante e após acontecimentos pluviosos de elevada intensidade e/ou duração. Complementarmente, deve alargar-se este estudo a muitas mais obras já realizadas, percorrendo todo o tipo de modelos de equipamentos que já operem em Portugal, obtendo-se assim um conhecimento mais geral sobre todos os modelos e em diversas situações, de forma a tentar encontrar um padrão de comportamento que permita, de forma mais segura, associar cada tipo de solução a um conjunto de condicionantes, que seja assim útil em projetos futuros.

Em forma de conclusão, considera-se importante, para a seleção das soluções mais adequadas a cada caso de estudo, que se tenham sempre dados representativos do nível de água a montante das válvulas, bem como da precipitação no local de instalação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- AMORIM, Hélder António Alves de – Afluências indevidas aos sistemas de drenagem de águas residuais. Lisboa – IST, 2007. Dissertação de Mestrado
- BARCELONA, Ayuntamiento de – Sota la Ciutat. Barcelona, 1991. Revista de obras hidráulicas
- BARCELONA, Ayuntamiento de – Pla especial de clavegueram de Barcelona i el seu àmbit hidrològic. Barcelona, 1998. Revista de obras hidráulicas
- BERTRAND-KRAJEWSKY, J.L.; LAPLACE, D.; JOANNIS, C., CHEBBO, G. - Mesures en hydrologie urbaine et assainissement. Editions Technique & Documentation – 2000a
- BIOGEST. Disponível em: <www.biogest.de>. Acesso em 2017
- BONITO, António José Cordeiro – Infiltrações na rede de drenagem de águas residuais, Caso de estudo da bacia de drenagem de Lanheses. Porto – FEUP, 2014. Dissertação de Mestrado
- BOTICA, André Henrique Patrício – Redes de drenagem de águas residuais domésticas em edifícios. Lisboa – IST, 2012. Dissertação de Mestrado
- BRITO, Rita Salgado – Monitorização de variáveis hidráulicas e de qualidade da água em drenagem urbana. Lisboa – FCT, 2012. Dissertação de Doutoramento
- CARDOSO, M.A. - Avaliação de Desempenho de Sistemas de Drenagem Urbana. Lisboa – LNEC, 2008. Dissertação de Doutoramento.
- CARDOSO, A.; ALMEIDA, M.C.; COELHO, S.T.; - Avaliação do impacto da infiltração no desempenho de sistemas de drenagem urbana. Braga – 2002. 9º encontro nacional de saneamento básico
- CHIEW, F., SEED, A., ZHANG, Y., ADAMS, T. - Urban meteorology – 2008
- DECRETO LEI Nº 207/94 - Distribuição de água e drenagem de águas residuais. 6 de Agosto de 1994
- DECRETO REGULAMENTAR Nº 23/95 - Regulamento Geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais. 23 de Agosto de 1995
- DECRETO LEI Nº 230/97 – Revê a lei orgânica do ministério do ambiente e cria o Instituto Regulador de Águas Residuais (IRAR). 30 de Agosto de 1997
- DECRETO LEI Nº 362/98 – Aprova o estatuto do Instituto Regulador de Águas Residuais e extingue o observatório nacional de ambiente. 18 de Novembro de 1998
- DECRETO LEI Nº 56/99 – Transpõe para o direito interno a Diretiva nº 86/280/CE. 26 de Fevereiro de 1999
- DECRETO LEI Nº 390/99 – Altera o Decreto Lei nº 56/99. 30 de Setembro de 1999
- DECRETO LEI Nº 58/2005 - Lei da Água, transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva nº 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas. 29 de Dezembro de 2005
- DECRETO LEI Nº 226-A/2007 - Regime da utilização dos recursos hídricos. 31 de Maio de 2007
- DELETIC, A. e FLETCHER, T. - Overview of guiding principles - 2008a

DELETIC, A. e FLETCHER, T. - Selecting variables to monitor – 2008b

DIRETIVA Nº 91/271/CE - Diretiva Europeia Tratamento de Águas Residuais Urbanas. 21 de Maio de 1991

ERSAR - Faturação de serviços "em alta" de saneamento de águas residuais urbanas em sistemas com contribuição de águas pluviais. Lisboa – 2007

HENRIQUES, J.D. *et al.* – Medição de caudal em sistemas de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais urbanas. Lisboa – LNEC, 2006

HIDROSTANK – 2012. Disponível em: <[www.hidrostant.com](http://www.hidrostant.com)>. Acesso em 2017

HYDER – Greater Dublin Strategic Drainage Study, Regional Drainage Policies – Volume 4. Inflow Infiltration & Exfiltration. Dublin – 2005

INTERAGUA – 2016. Disponível em: <[www.interagua.pt](http://www.interagua.pt)>. Acesso em 2017

LISBOA, Hemeroteca Municipal de - Frederico Ressano Garcia

MAIDMENT, D. - Handbook of hydrology. McGraw-Hill - 1993

MANZANARES, Alberto Abecasis – Hidráulics Geral II, Escoamento líquidos. Lisboa: AEIST, 1980

MARSH-McBIRNEY, Inc. – Understanding the Flo-Dar flow measuring system. 2005

MATIAS, N.; FERREIRA, F.; MATOS, J.S.; TELES, S. – Controlo de descargas em sistemas de drenagem urbana

MATOS, J.M.S.; de SOUSA, E.A.R. - Dimensionamento de Órgãos Especiais em Sistemas de Drenagem: Sifões Invertidos e Descarregadores em “Encontro Nacional de Saneamento Básico”, APESB. Matosinhos - 1987

MATOS, J. S. - Ambiente e Saneamento - Sistemas de Drenagem Urbana. Lisboa - IST Press, 2003

MATOS, J.S.; FERREIRA, F.; MONTEIRO, A.; OLIVEIRA, R.; MATIAS, N.; MARQUES, R.; PÓVOA, P. – Perspetiva histórica e evolução do saneamento de águas residuais na cidade de Lisboa. Lisboa – IST, 2008

MATOS, José de Saldanha – Aspetos históricos a atuais da evolução da evolução da drenagem de águas residuais em meio urbano. Lisboa – IST

MATOS, J.S.; FERREIRA, F.; MONTEIRO, A.; OLIVEIRA, R.; MATIAS, N.; PÓVOA, P.; MARQUES, R. – Perspetiva histórica e evolução do saneamento de águas residuais na cidade de Lisboa. Julho de 2008. VIII Seminário Ibero-Americano

McBIRNEY, M. – Understanding the Flo-Dar Flow Measuring System – 2005

MOSBAEK. Disponível em: <[www.mosbaek.com](http://www.mosbaek.com)>. Acesso em 2017

NIEMCZYNOWICZ, J. - On storm movement and its application. *Atmospheric Research*. Vol. 27 - 1991

PENSAAR 2020 – Uma estratégia ao serviço da população: Serviços de qualidade a um preço sustentável. Volume 1. Abril de 2015

QUINTELA, A. C. – Hidráulica. 13ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2014

SANEST – Manual de medição de caudal. Lisboa – SANEST, 2010

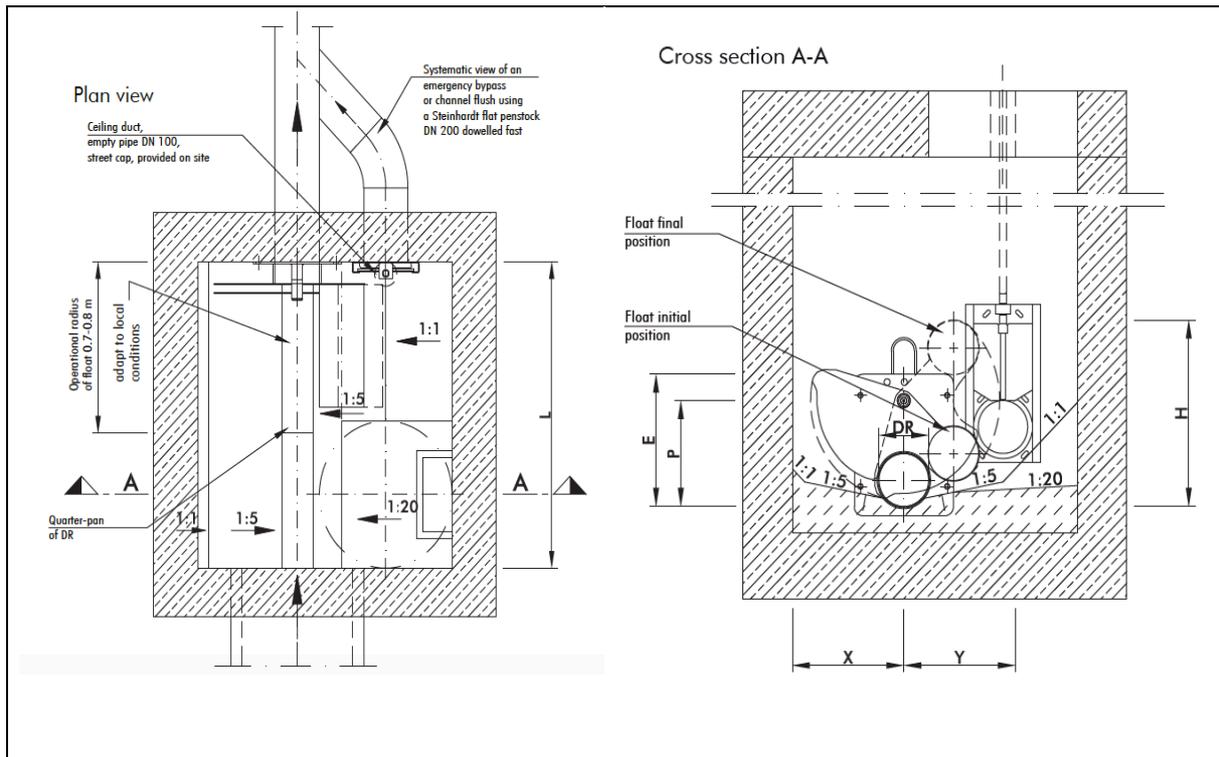
SCHILLING, W. - Rainfall data for urban hydrology. what do we need? *Atmospheric Research*. Vol. 27 – 1991

SIMTEJO – Plano de Controlo de Caudais Pluviais no Subsistema de Frielas. Lisboa – 2011  
SIMTEJO – Projeto de Execução do Emissário de Monsanto, 2ª e 3ª fases. Lisboa - 2008  
SOUSA, E.R.; MATOS, J.M. - Órgãos Especiais do Sistema de Drenagem em Manual de Saneamento Básico - Abastecimento de Água e Esgoto. Lisboa – 1991  
STEINHARDT – 2015. Disponível em: <[www.steinhardtgmbh.com](http://www.steinhardtgmbh.com)>. Acesso em 2017

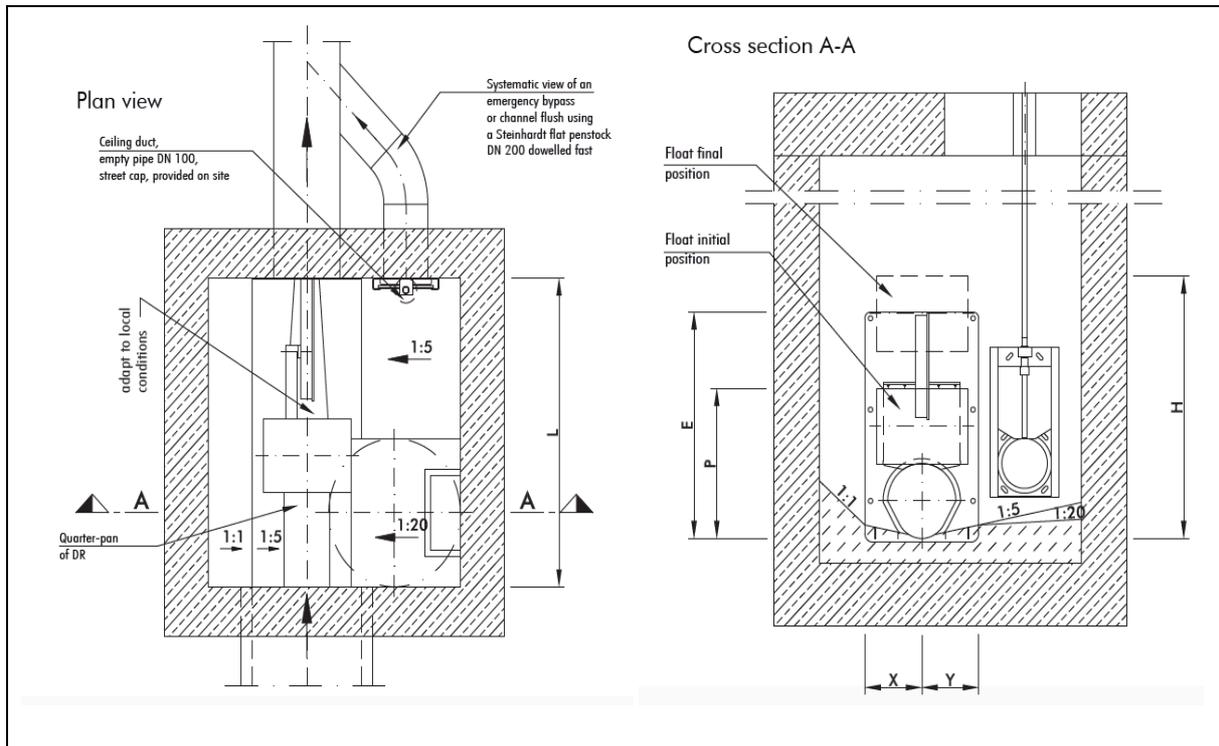
**ANEXO A**

CONCEÇÃO DAS CÂMARAS DE INSTALAÇÃO DOS MODELOS DE VÁLVULAS E TIPOS  
DE INSTALAÇÃO

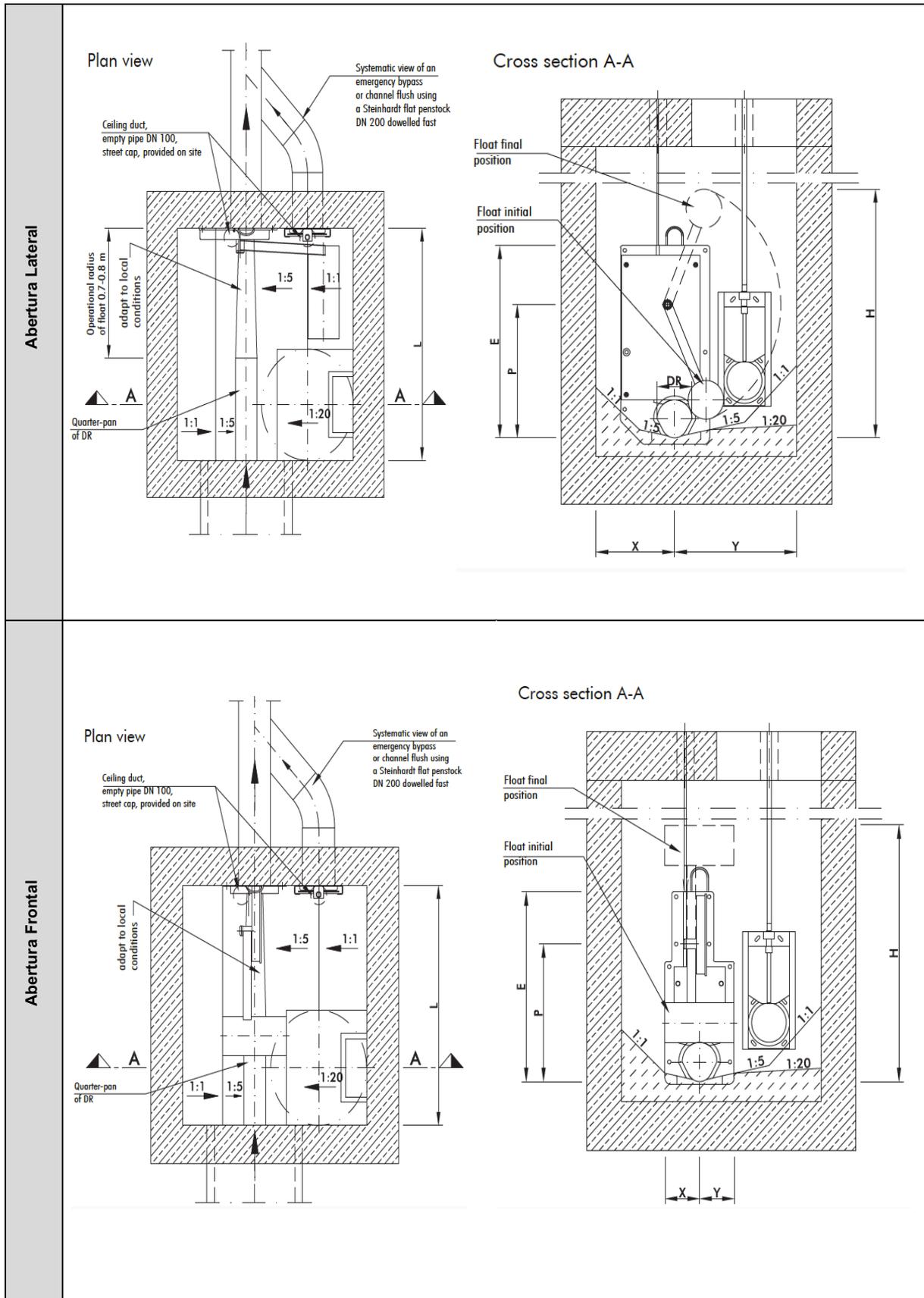
## A.1. Dimensões recomendadas das câmaras de instalação dos modelos HydroSlide



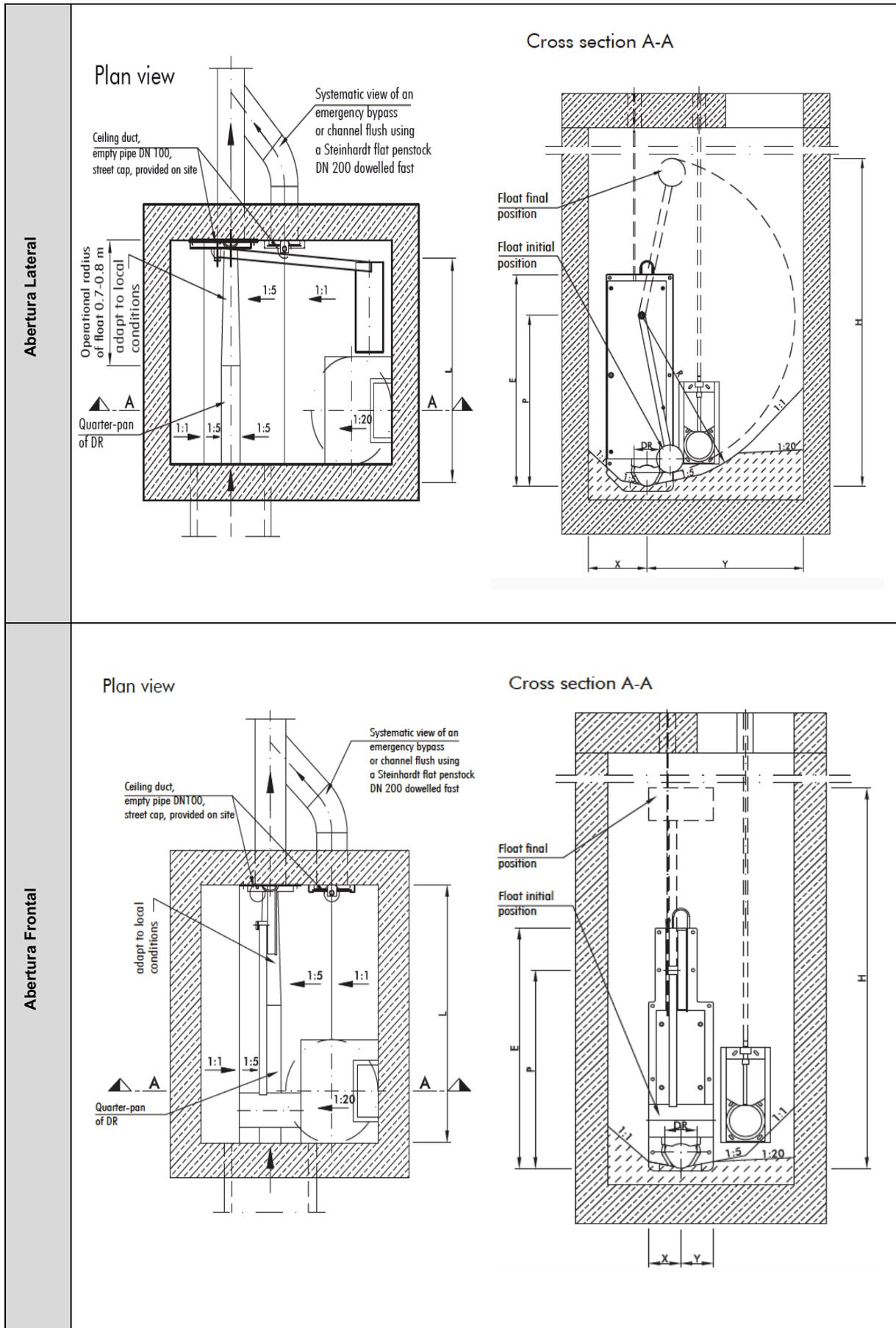
Instalação do modelo HydroSlide MINI



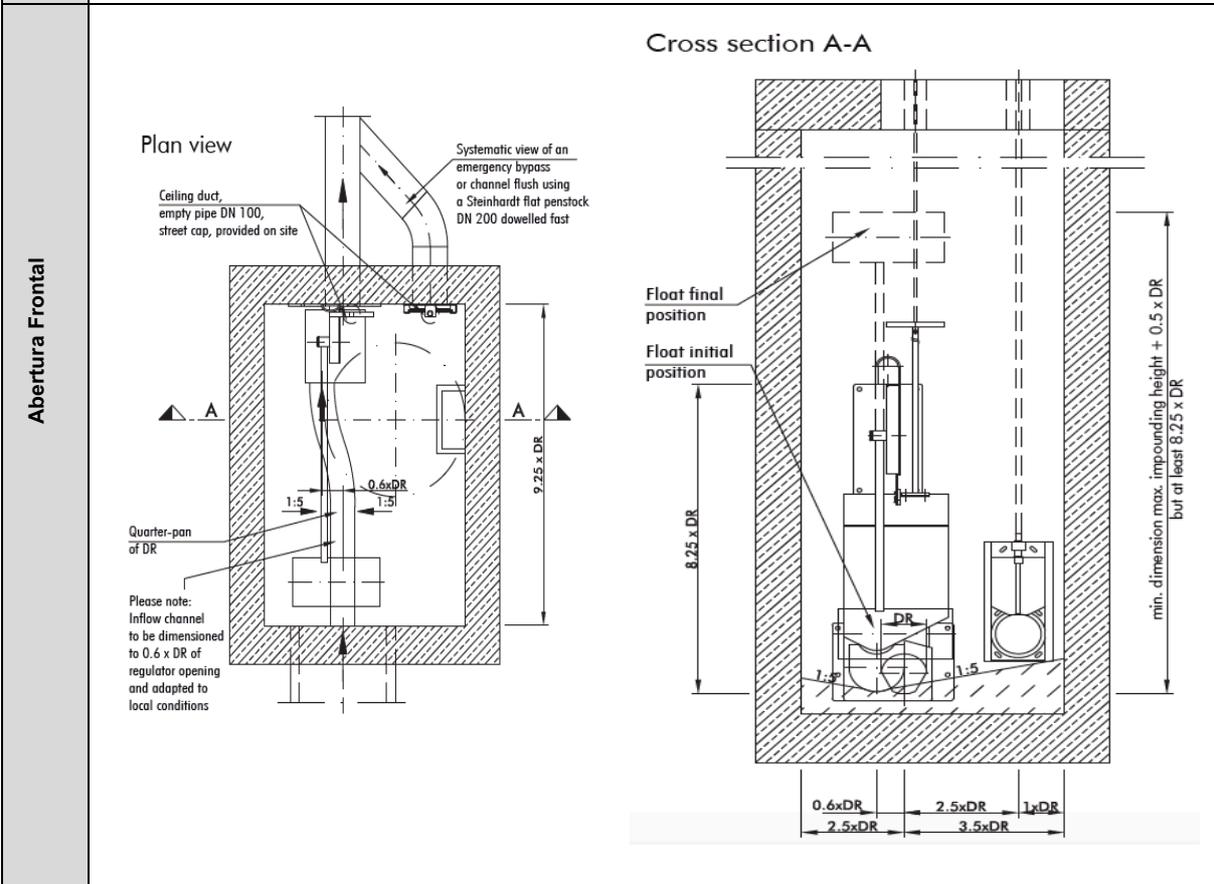
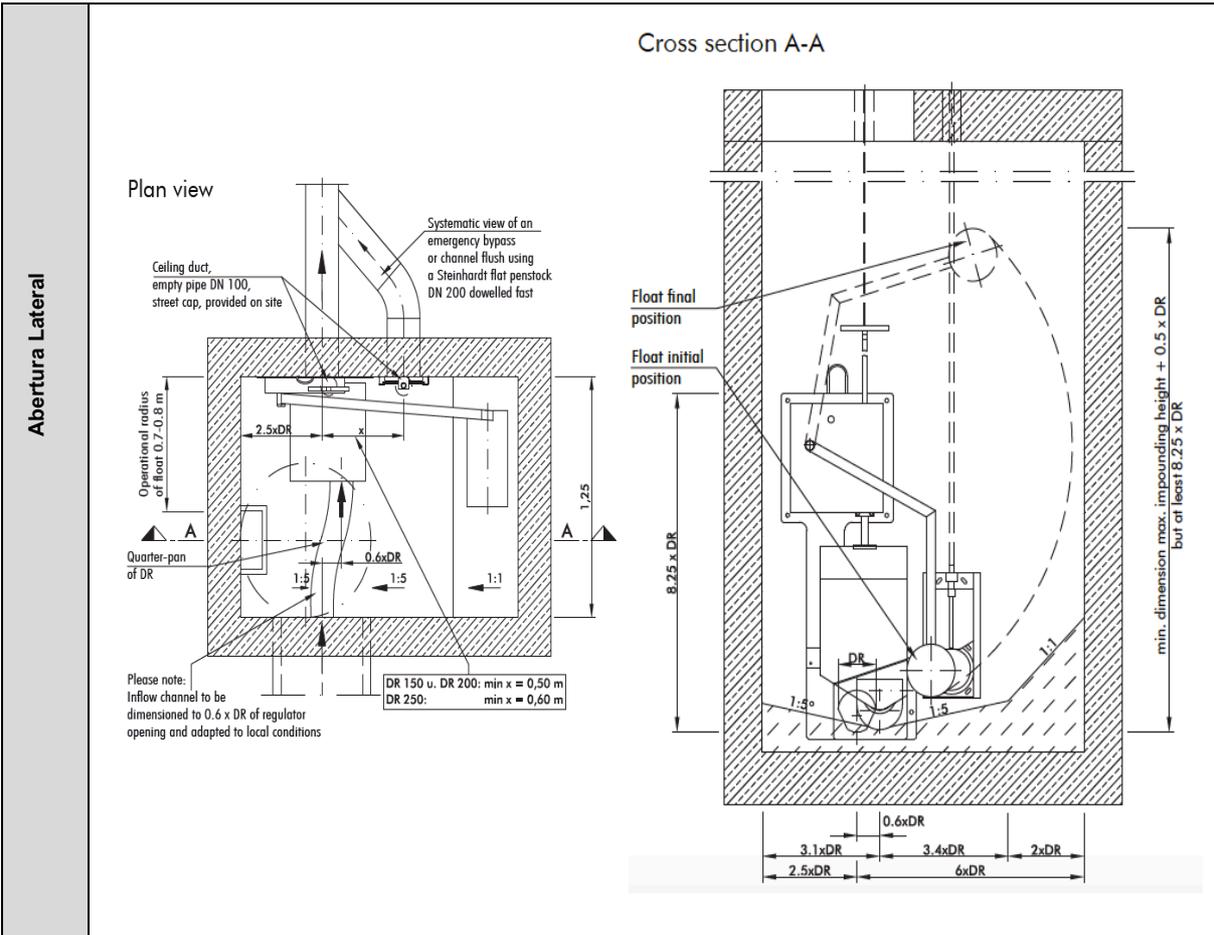
Instalação do modelo HydroSlide VM



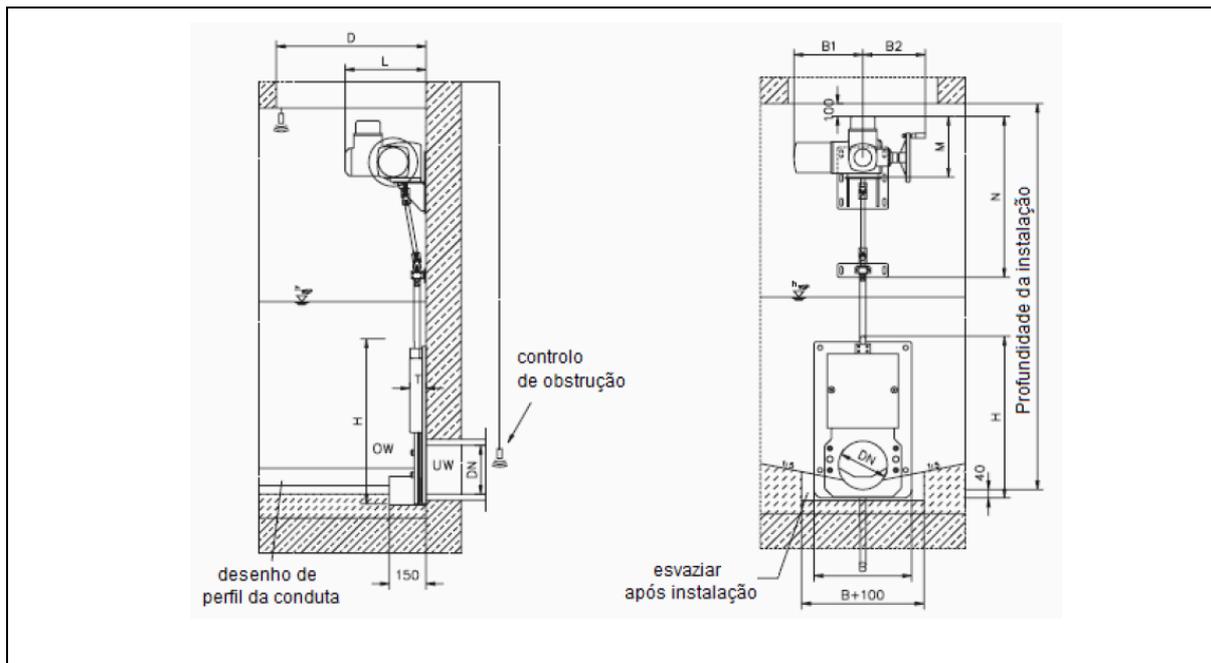
Instalação do modelo HydroSlide VN com abertura frontal ou lateral



Instalação do modelo HydroSlide VS com abertura frontal ou lateral

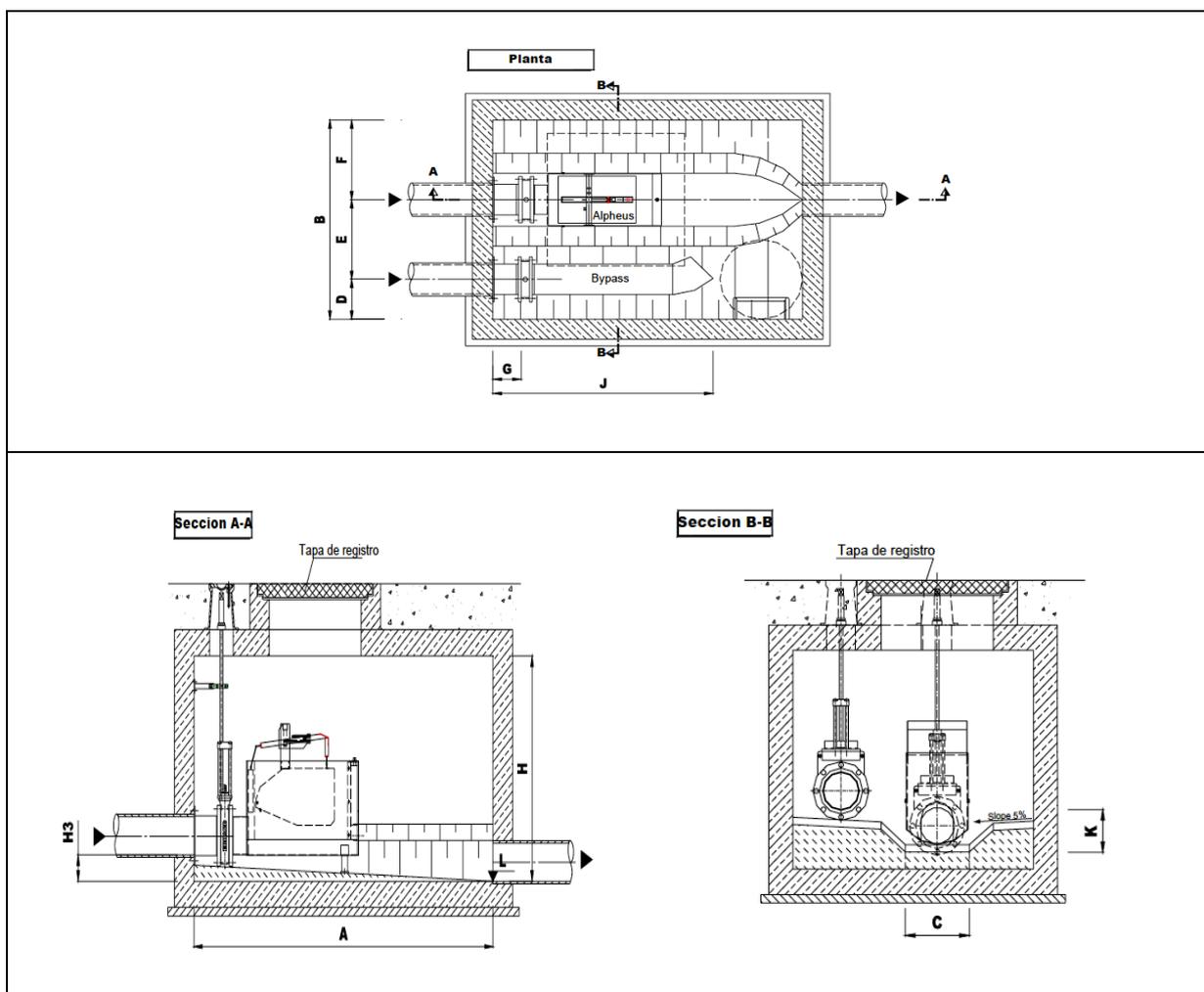


**Instalação do modelo HydroSlide GM com abertura frontal ou lateral**



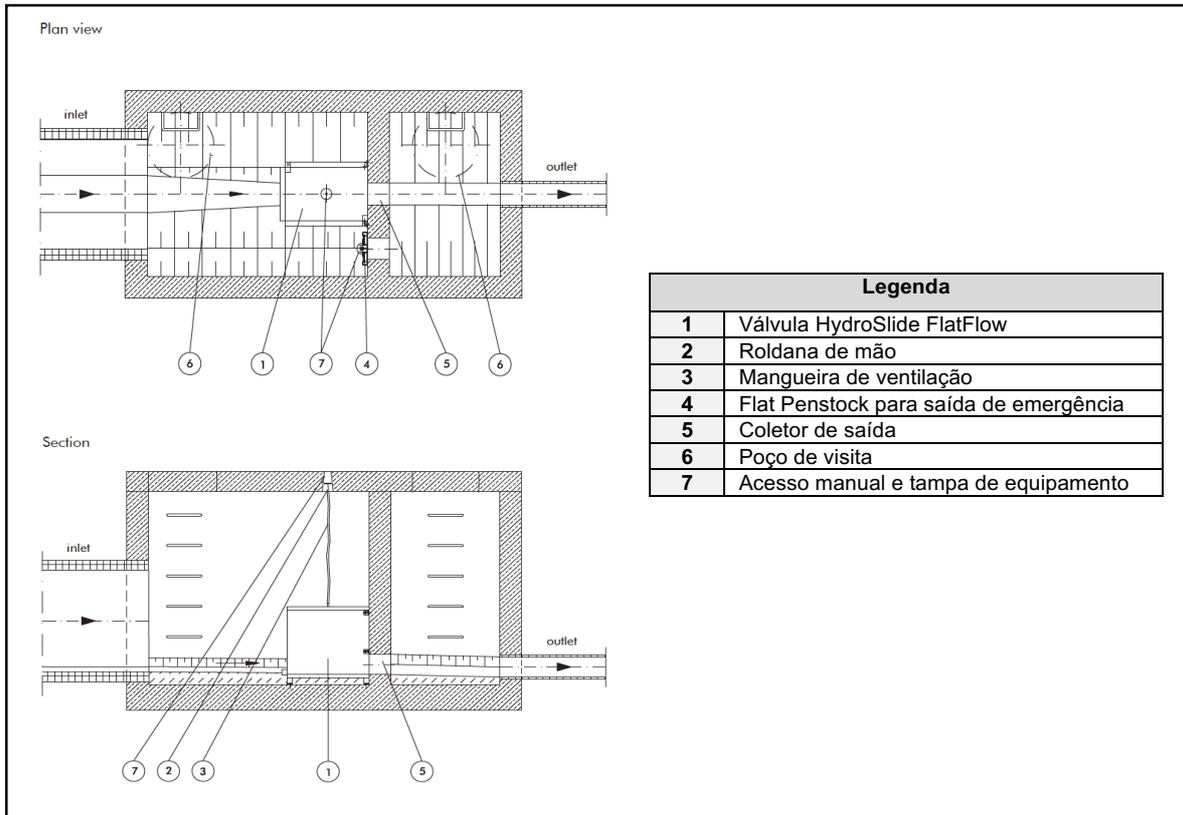
Instalação do modelo HydroSlide ElectroSlide

## A.2. Dimensões recomendadas das câmaras de instalação do modelo ALPHEUS AT

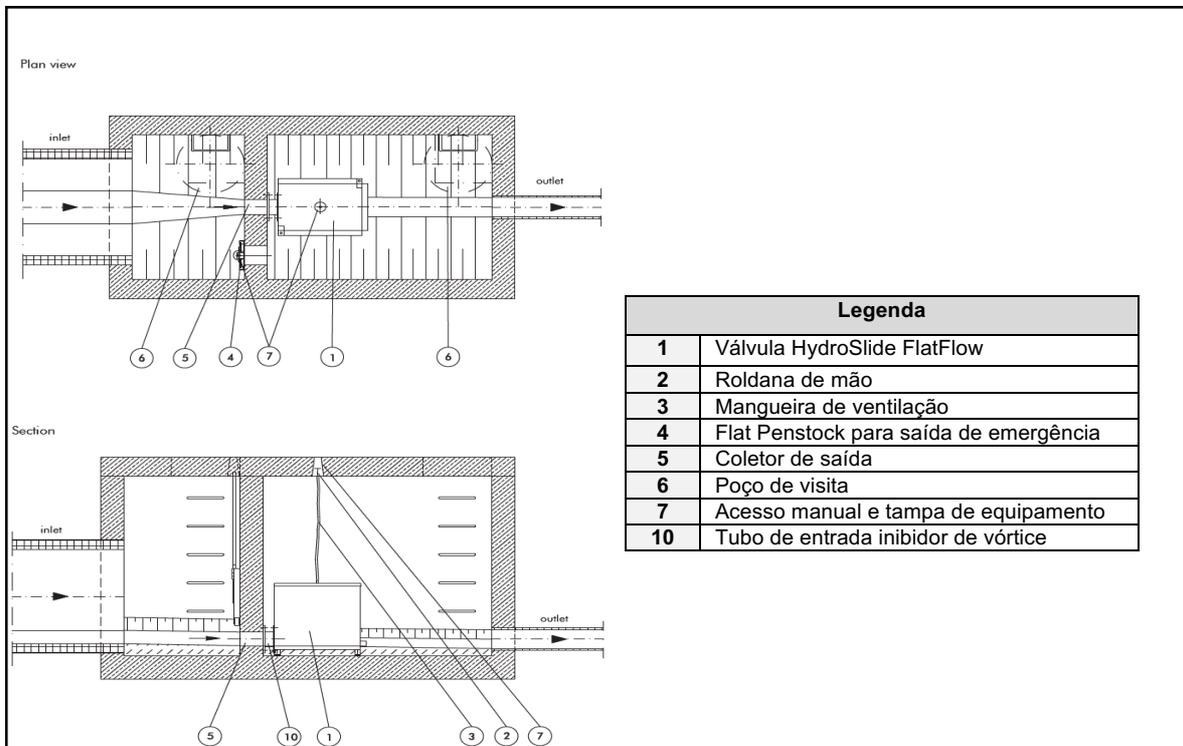


Instalação do modelo ALPHEUS AT

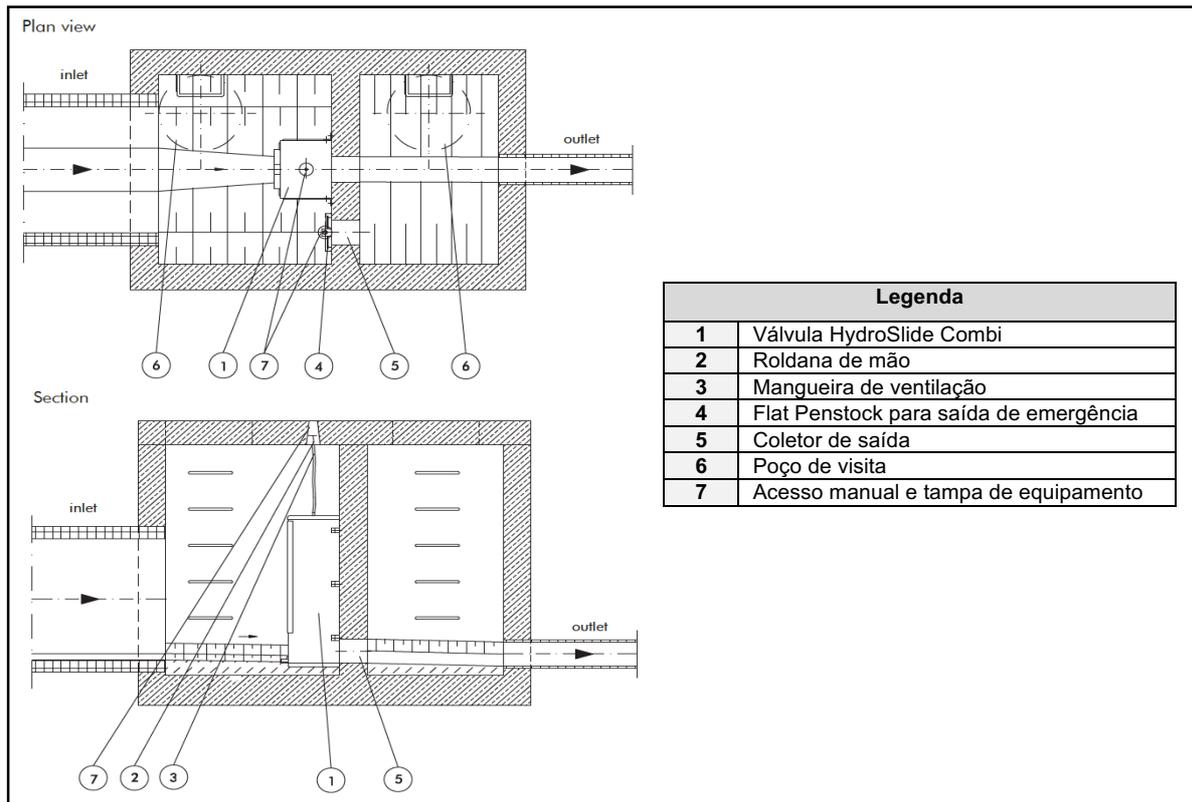
### A.3. Tipos de instalação em câmara húmida e semi-seca de modelos HydroSlide



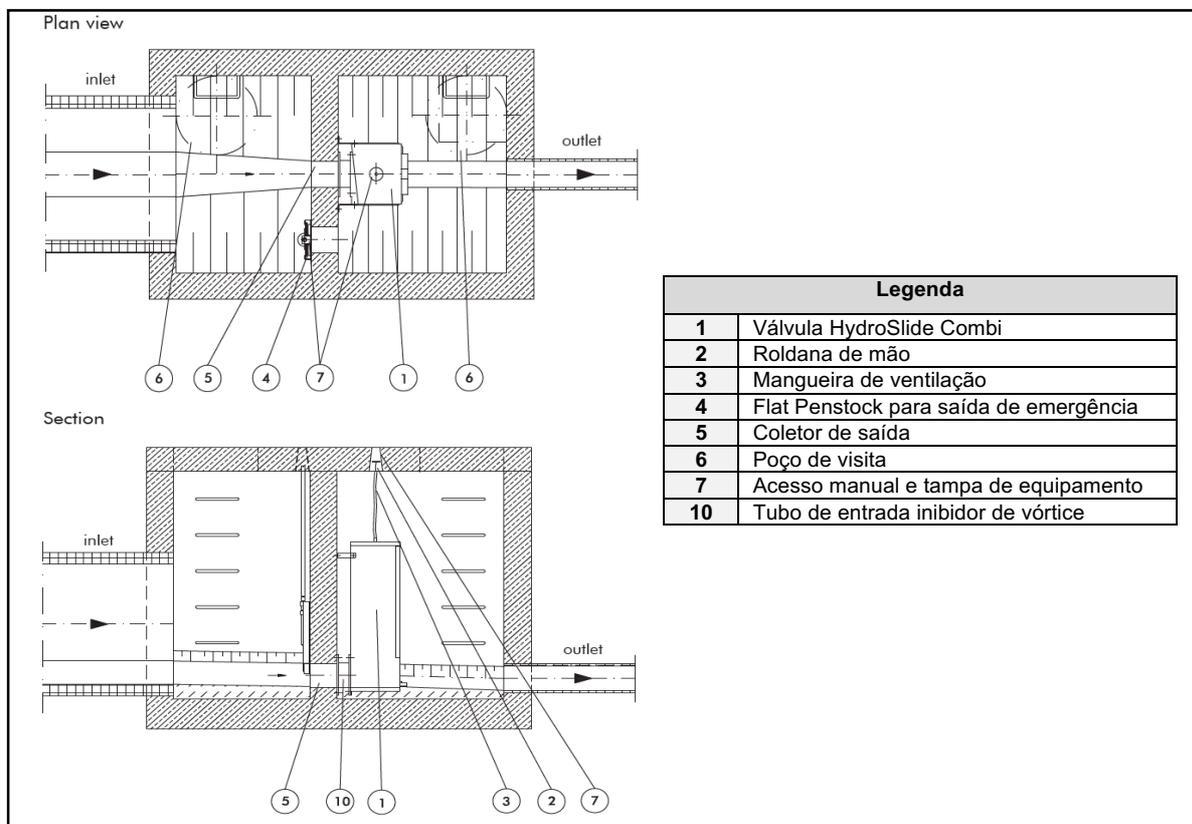
Exemplo de instalação do modelo HydroSlide FlatFlow em câmara húmida



Exemplo de instalação do modelo HydroSlide FlatFlow em câmara semi-seca

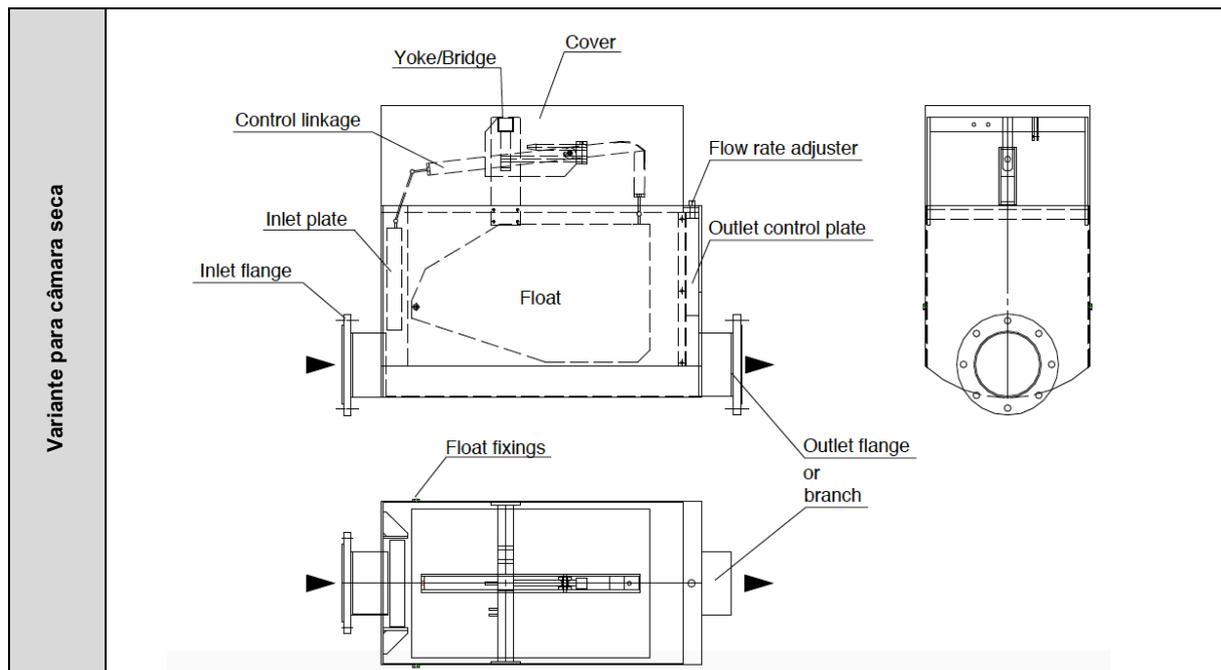


Exemplo de instalação do modelo HydroSlide Combi em câmara húmida

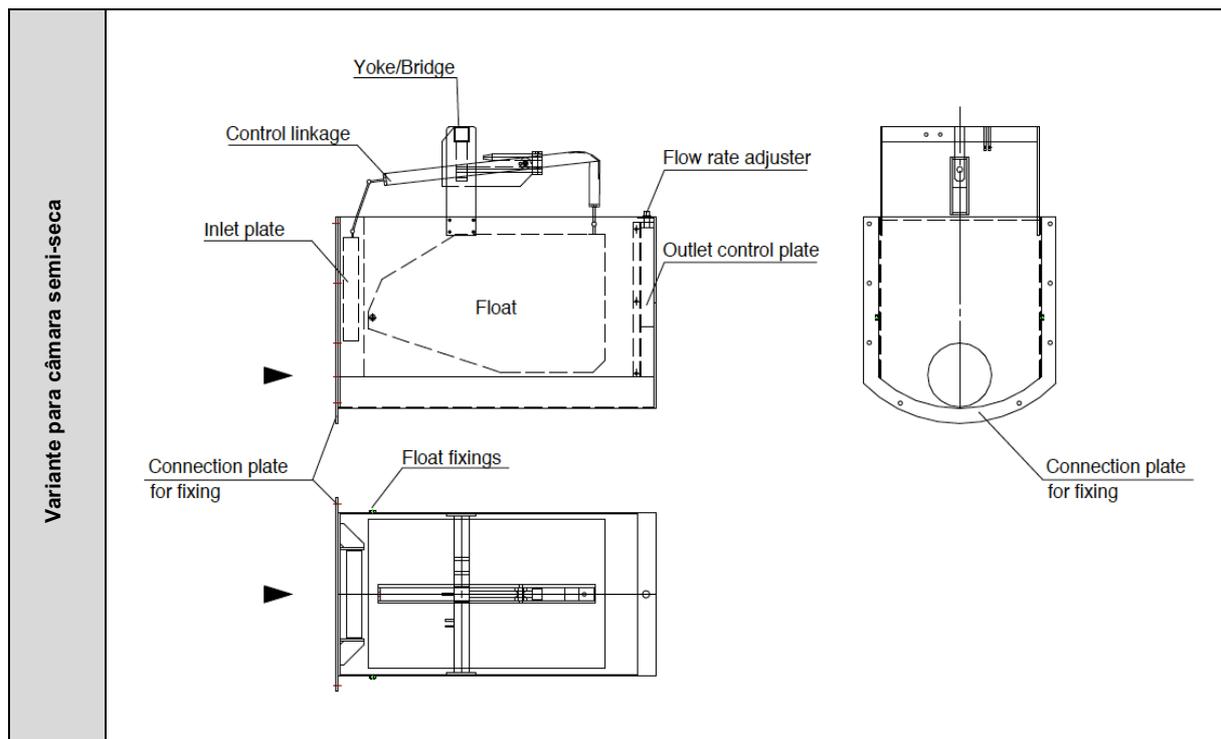


Exemplo de instalação do modelo HydroSlide Combi em câmara semi-seca

#### A.4. Tipos de instalação em câmara seca e semi-seca do modelo ALPHEUS AT



Variante de instalação do modelo ALPHEUS para câmara seca



Variante de instalação do modelo ALPHEUS para câmara semi-seca

## **ANEXO B**

QUADRO RESUMO DOS TIPOS DE VÁLVULAS REGULADORAS DE CAUDAL

## B.1. Quadro resumo dos equipamentos disponíveis

Equipamento	Fabricante	Revendedor	Instalação	Desobstrução	Tipo	Q (L/s)	h montante (m)
HydroSlide MINI	Steinhardt	Interagua	Húmida	Manual	Flutuador rotacional	1 a 5.390	até 3,5 DR
HydroSlide VM	Steinhardt	---	Húmida	Manual	Flutuador vertical	61 a 770	até 3,5 DR
HydroSlide VN	Steinhardt	---	Húmida	Manual	Flutuador vertical	5,1 a 1.960	até 7 DR
HydroSlide VS	Steinhardt	---	Húmida	Manual	Flutuador rotacional	1 a 770	até 13,5 DR
HydroSlide GM	Steinhardt	---	Húmida	Automática	Flutuador livre	5 a 60	até 13,5 DR
HydroSlide MiniSlide	Steinhardt	---	Húmida	Manual	Flutuador rotacional	3 a 55	variável
HydroSlide Combi	Steinhardt	---	qualquer	Automática	Por pressão	8 a 60	Até 4,0 m
HydroSlide FlatFlow	Steinhardt	---	qualquer	Automática	Por pressão	8 a 60	Até 2,50 m
HydroLimiter	Steinhardt	---	Húmida	Manual	Flutuador vertical	4 a 400	3/ 3,7/ 6,5 DR
EletroSlide	Steinhardt	Interagua	Húmida e semi-seca	Automática	Eletrónico	5 a 3.500	variável
EasySlide	Steinhardt	---	Húmida e semi-seca	Automática	Eletrónico	15 a 3.500	variável
Cyclone CYE	Mosbaek	Hidrotank	Húmida	Manual	Vórtice	10 a 600	Até 6,0 m
Cyclone CYO	Mosbaek	Hidrotank	Húmida	Manual	Vórtice	10 a 600	Até 6,0 m
Cyclone CYEO	Mosbaek	Hidrotank	Húmida	Manual	Vórtice	10 a 600	Até 6,0 m
Cyclone CYDK	Mosbaek	Hidrotank	Seca e semi-seca	Manual	Vórtice	8 a 80	Até 6,0 m
Cyclone CYDV	Mosbaek	Hidrotank	Seca e semi-seca	Manual	Vórtice	20 a 500	Até 6,0 m
Cyclone CYDX	Mosbaek	Hidrotank	Seca e semi-seca	Manual	Vórtice	25 a 600	Até 6,0 m
Cyclone CEV	Mosbaek	Hidrotank	Húmida	Manual	Vórtice	0,2 a 80	variável
Cyclone CEH	Mosbaek	Hidrotank	Seca e Semi-seca	Manual	Vórtice	4 a 30	variável
Double orifice DB	Mosbaek	Hidrotank	Húmida	Manual	Placa com orifício	30 a 10.000	variável
Vórtex WAB UCY	Biogest	---	Húmida	Manual	Vórtice	Semelhante aos CY	Semelhante aos CY
Vórtex WAB CE/V	Biogest	---	Húmida	Manual	Vórtice	Semelhante ao CEV	Semelhante ao CEV
Vórtex WAB CY-F	Biogest	---	Semi-seca	Manual	Vórtice	Semelhante aos CYD	Semelhante aos CYD
ALPHEUS AT	Biogest	---	Qualquer	Automática	Flutuador	2 a 438	0,55 a 4,0 m
ALPHEUS AS	Biogest	---	Qualquer	Automática	Flutuador	2 a 2.400	variável
ALPHEUS AA	Biogest	---	Qualquer	Automática	Flutuador	2 a 185	variável
Regulador EGAR	Biogest	---	Qualquer	Automática	Elétrico	2 a 2.400	Variável
Regulador EGAR-LC	Biogest	---	Qualquer	Automática	Elétrico	2 a 2.400	variável

## **ANEXO C**

RESULTADOS RELEVANTES REFERENTES AOS CASOS DE ESTUDO

### C.1. Dados tratados referentes ao caso de estudo de Alforneiros

Tabelas de Dados (Alforneiros)									
	Qponta	Qmedio	Velocidade máx	Velocidade min		Qponta	Qmedio	Velocidade máx	Velocidade min
	L/s	L/s	m/s	m/s		L/s	L/s	m/s	m/s
17/jun	30,52	24,95	1,60	1,34	13/set	150,33	34,44	2,73	1,17
18/jun	36,97	22,49	1,67	1,06	14/set	65,08	21,10	1,86	1,05
19/jun	73,71	23,42	1,94	1,02	15/set	36,35	21,08	1,61	1,04
20/jun	48,91	22,67	1,75	1,03	16/set	84,11	21,49	2,05	0,99
21/jun	36,24	22,23	1,64	0,97	17/set	32,70	20,91	1,63	1,01
22/jun	36,48	22,07	1,63	1,03	18/set	43,31	22,17	1,67	0,96
23/jun	41,82	21,88	1,66	1,00	19/set	42,98	21,37	1,64	1,01
24/jun	60,22	22,76	1,82	1,02	20/set	36,47	21,05	1,62	1,00
25/jun	48,54	21,42	1,74	1,02	21/set	37,18	21,07	1,63	1,01
26/jun	33,74	21,45	1,61	0,99	22/set	48,22	20,89	1,73	0,98
27/jun	35,95	21,48	1,61	1,00	23/set	60,63	21,79	1,88	1,02
28/jun	70,58	22,83	1,93	0,99	24/set	47,42	20,95	1,70	0,99
29/jun	49,92	21,63	1,78	0,99	25/set	36,01	21,14	1,66	1,02
30/jun	37,24	21,09	1,61	1,01	26/set	35,50	21,07	1,62	1,01
01/jul	34,17	21,26	1,59	1,01	27/set	38,14	20,82	1,63	0,95
02/jul	33,85	21,68	1,64	1,01	28/set	38,01	21,03	1,64	1,01
03/jul	53,72	23,17	1,75	1,02	29/set	62,33	22,20	1,83	0,99
04/jul	47,50	21,99	1,69	1,03	30/set	47,49	20,98	1,72	0,99
05/jul	56,06	22,22	1,74	1,00	01/out	34,58	20,96	1,63	1,02
06/jul	35,24	22,03	1,62	1,03	02/out	35,61	20,94	1,64	0,99
07/jul	36,34	21,81	1,63	0,94	03/out	39,22	20,70	1,63	0,99
08/jul	73,50	22,98	1,95	0,99	04/out	58,43	21,27	1,78	0,97
09/jul	45,63	21,98	1,63	0,98	05/out	35,95	21,62	1,66	0,97
10/jul	34,82	21,73	1,64	1,02	06/out	38,39	21,01	1,66	0,96
11/jul	63,05	22,84	1,85	0,98	07/out	38,12	20,47	1,64	0,96
12/jul	37,70	21,76	1,65	0,98	08/out	34,30	20,99	1,64	0,98
13/jul	36,54	21,23	1,60	0,97	09/out	36,48	21,38	1,67	0,98
14/jul	52,71	22,67	1,77	0,94	10/out	53,72	22,37	1,79	0,98
15/jul	35,86	21,47	1,62	0,98	11/out	139,40	31,63	2,50	0,95
16/jul	32,90	21,26	1,60	0,98	12/out	140,63	40,90	3,55	1,17
17/jul	74,60	22,37	2,00	0,97	13/out	40,92	24,23	1,74	1,13
18/jul	89,74	21,66	2,14	0,98	14/out	38,50	21,97	1,67	1,06
19/jul	34,05	20,90	1,61	0,97	15/out	36,67	21,93	1,67	1,00
20/jul	35,94	20,43	1,64	0,93	16/out	61,10	22,34	1,87	1,03
21/jul	85,31	21,73	2,04	0,96	17/out	123,60	25,14	2,32	1,00
22/jul	45,23	20,28	1,66	0,97	18/out	41,46	22,24	1,68	0,96
23/jul	43,83	20,09	1,64	0,98	19/out	36,76	22,71	1,63	0,99
24/jul	36,41	20,14	1,61	0,97	20/out	38,41	21,22	1,59	0,97
25/jul	38,20	21,11	1,61	0,95	21/out	72,24	21,99	1,97	0,96
26/jul	33,11	20,39	1,61	0,95	22/out	148,10	29,76	2,56	0,99
27/jul	34,33	20,13	1,61	0,91	23/out	140,94	35,10	2,42	1,09
28/jul	65,20	21,85	1,86	0,98	24/out	151,71	44,52	2,63	1,01
29/jul	34,13	20,68	1,63	1,00	25/out	88,31	30,82	2,02	1,27
30/jul	31,75	20,03	1,61	0,98	26/out	72,25	24,83	1,90	1,07
31/jul	31,65	19,94	1,60	0,94	27/out	39,59	22,89	1,61	0,99
01/ago	58,96	20,78	1,87	0,94	28/out	38,17	22,09	1,59	0,96
02/ago	31,80	19,15	1,65	0,94	29/out	38,08	22,00	1,61	0,99
03/ago	31,33	19,33	1,59	0,95	30/out	40,04	21,37	1,65	0,95
04/ago	32,57	19,16	1,59	1,00	31/out	58,31	21,57	1,77	0,94
05/ago	49,00	21,03	1,73	0,96	01/nov	37,37	21,26	1,62	0,99
06/ago	37,46	19,07	1,63	1,00	02/nov	139,44	23,55	2,49	0,99
07/ago	30,18	18,54	1,59	0,93	03/nov	38,98	21,38	1,67	1,02
08/ago	29,42	18,85	1,58	0,98	04/nov	42,59	21,21	1,69	0,97
09/ago	53,80	19,81	1,74	0,99	05/nov	151,48	28,93	2,54	1,00
10/ago	49,56	19,27	1,74	1,01	06/nov	41,58	22,62	1,75	1,02
11/ago	33,15	19,32	1,62	1,04	07/nov	48,10	22,73	1,65	0,99
12/ago	34,22	19,00	1,62	0,98	08/nov	44,77	21,54	1,65	0,95
13/ago	27,89	18,40	1,61	1,01	09/nov	58,70	21,10	1,72	0,95
14/ago	26,13	17,52	1,59	1,00	10/nov	39,87	21,02	1,60	0,91
15/ago	28,22	18,48	1,60	0,98	11/nov	40,66	20,28	1,64	0,93
16/ago	48,79	20,22	1,65	1,06	12/nov	144,11	29,52	2,44	0,93
17/ago	43,05	18,64	1,66	0,96	13/nov	104,66	24,38	2,12	1,03
18/ago	38,08	18,40	1,64	0,96	14/nov	40,34	21,26	1,67	0,99
19/ago	28,27	17,98	1,60	1,01	15/nov	40,63	20,93	1,71	0,92
20/ago	29,77	18,50	1,62	0,99	16/nov	37,48	22,27	1,67	0,93
21/ago	30,27	18,57	1,61	1,00	17/nov	38,23	20,84	1,66	0,92
22/ago	29,35	18,71	1,61	0,93	18/nov	54,17	21,41	1,75	0,93
23/ago	46,66	19,85	1,67	0,96	19/nov	140,16	25,03	2,45	0,93
24/ago	31,68	19,18	1,64	1,02	20/nov	143,90	61,66	2,45	1,32
25/ago	31,03	18,71	1,60	0,98	21/nov	133,88	43,92	2,44	1,35
26/ago	31,08	18,73	1,61	0,95	22/nov	42,33	25,09	1,67	1,14
27/ago	61,30	20,01	1,86	1,00	23/nov	50,49	24,71	1,71	1,04
28/ago	40,07	19,07	1,69	0,98	24/nov	133,34	34,35	2,43	1,05
29/ago	30,49	19,09	1,64	0,97	25/nov	132,39	75,46	2,43	1,49
30/ago	32,56	19,40	1,68	0,97	26/nov	140,86	58,83	2,49	1,26
31/ago	31,49	19,89	1,60	0,91	27/nov	121,84	43,42	2,34	1,39
01/set	32,35	20,46	1,65	0,95	28/nov	48,43	29,40	1,68	1,17
02/set	42,59	21,71	1,65	1,02	29/nov	60,62	26,24	1,77	1,08
03/set	32,08	20,70	1,64	1,01	30/nov	127,48	41,01	2,36	1,06
04/set	32,97	20,86	1,66	1,06	01/dez	136,55	43,13	2,40	1,18
05/set	35,24	20,72	1,63	1,01	02/dez	65,07	29,06	1,83	1,15
06/set	34,93	20,70	1,65	1,02	03/dez	131,27	64,96	2,40	1,13
07/set	42,83	21,64	1,67	1,05	04/dez	133,19	73,06	2,48	1,36
08/set	64,03	20,70	1,92	1,02	05/dez	69,41	37,77	1,89	1,27
09/set	34,08	20,25	1,64	1,02	06/dez	57,27	30,26	1,70	1,15
10/set	32,80	20,65	1,66	1,00	07/dez	54,35	27,51	1,65	1,12
11/set	34,14	21,06	1,63	1,08	08/dez	42,29	5,11	1,57	1,11
12/set	36,03	20,99	1,62	1,00					

## C.2. Valores de interesse referentes ao caso de estudo de Alfornelos

	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
$Q_{\text{médio mensal}}$	22,22	21,41	19,12	21,53	24,61	29,85	*	L/s
$Q_{\text{ponta máx}}$	73,71	89,74	61,30	150,33	151,71	151,48	*	L/s
$v_{\text{máx}}$	1,94	2,14	1,87	2,73	3,55	2,54	*	m/s
$v_{\text{min}}$	0,97	0,91	0,91	0,95	0,94	0,91	*	m/s

\* poucos dias de registos para se generalizarem para o mês inteiro

## C.3. Análise de funcionamento da válvula reguladora de caudal no caso de estudo de Alfornelos

Dia	$Q_{\text{ponta}} \downarrow$	Verificação	Dia	$Q_{\text{medio}} \downarrow$	Verificação	Dia	Velocidade máx $\downarrow$	Verificação	Dia	Velocidade min $\uparrow$	Verificação
24/out	151,71	não	25/nov	75,46	sim	12/out	3,55	sim	27/jul	0,91	sim
05/nov	151,48	não	04/dez	73,06	sim	13/set	2,73	sim	31/ago	0,91	sim
13/set	150,33	não	03/dez	64,96	sim	24/out	2,63	sim	10/nov	0,91	sim
22/out	148,10	não	20/nov	61,66	sim	22/out	2,56	sim	15/nov	0,92	sim
12/nov	144,11	não	26/nov	58,83	sim	05/nov	2,54	sim	17/nov	0,92	sim
20/nov	143,90	não	24/out	44,52	sim	11/out	2,50	sim	20/jul	0,93	sim
23/out	140,94	não	21/nov	43,92	sim	02/nov	2,49	sim	07/ago	0,93	sim
26/nov	140,86	não	27/nov	43,42	sim	26/nov	2,49	sim	22/ago	0,93	sim
12/out	140,63	não	01/dez	43,13	sim	04/dez	2,48	sim	11/nov	0,93	sim
19/nov	140,16	não	30/nov	41,01	sim	19/nov	2,45	sim	12/nov	0,93	sim
02/nov	139,44	não	12/out	40,90	sim	20/nov	2,45	sim	16/nov	0,93	sim
11/out	139,40	não	05/dez	37,77	sim	12/nov	2,44	sim	18/nov	0,93	sim
01/dez	136,55	não	23/out	35,10	sim	21/nov	2,44	sim	19/nov	0,93	sim
21/nov	133,88	não	13/set	34,44	sim	24/nov	2,43	sim	07/jul	0,94	sim
24/nov	133,34	não	24/nov	34,35	sim	25/nov	2,43	sim	14/jul	0,94	sim
04/dez	133,19	não	11/out	31,63	sim	23/out	2,42	sim	31/jul	0,94	sim
25/nov	132,39	não	25/out	30,82	sim	01/dez	2,40	sim	01/ago	0,94	sim
03/dez	131,27	não	06/dez	30,26	sim	03/dez	2,40	sim	02/ago	0,94	sim
30/nov	127,48	não	22/out	29,76	sim	30/nov	2,36	sim	31/out	0,94	sim
17/out	123,60	não	12/nov	29,52	sim	27/nov	2,34	sim	25/jul	0,95	sim
27/nov	121,84	não	28/nov	29,40	sim	17/out	2,32	sim	26/jul	0,95	sim
13/nov	104,66	sim	02/dez	29,06	sim	18/jul	2,14	sim	03/ago	0,95	sim
18/jul	89,74	sim	05/nov	28,93	sim	13/nov	2,12	sim	26/ago	0,95	sim
...											
15/ago	28,22	sim	19/ago	17,98	sim	28/out	1,59	sim	04/dez	1,36	sim
13/ago	27,89	sim	14/ago	17,52	sim	08/ago	1,58	sim	27/nov	1,39	sim
14/ago	26,13	sim	08/dez	5,11	sim	08/dez	1,57	sim	25/nov	1,49	sim
<b>% registos de incumprimento</b>		<b>12,00</b>			<b>0,00</b>			<b>0,00</b>			<b>0,00</b>

#### C.4. Dados tratados referentes ao caso de estudo de Caselas

Tabelas de Dados									
	Qponta	Qmedio	Velocidade máx	Velocidade min		Qponta	Qmedio	Velocidade máx	Velocidade min
	L/s	L/s	m/s	m/s		L/s	L/s	m/s	m/s
27/mar	9,24	4,21	1,92	0,89	14/mai	11,16	5,47	2,17	1,41
28/mar	8,39	4,43	1,87	0,80	15/mai	12,57	5,74	2,05	1,20
29/mar	8,18	4,38	1,81	0,90	16/mai	11,72	5,96	1,94	1,13
30/mar	14,30	4,58	2,16	0,84	17/mai	12,51	6,07	1,90	1,12
31/mar	10,15	4,51	2,03	0,94	18/mai	12,48	5,42	1,92	1,06
01/abr	8,00	4,14	1,83	0,88	19/mai	13,62	5,21	1,98	0,96
02/abr	27,52	5,86	2,60	0,80	20/mai	12,65	5,15	1,95	0,97
03/abr	27,43	7,80	2,71	0,95	21/mai	10,72	4,70	1,93	0,91
04/abr	27,39	14,88	2,70	1,56	22/mai	13,41	4,87	2,04	0,85
05/abr	11,68	6,16	2,12	1,16	23/mai	10,23	4,63	1,92	0,87
06/abr	10,41	5,40	1,98	0,91	24/mai	11,07	4,38	2,01	0,84
07/abr	15,56	5,40	2,16	0,76	25/mai	10,40	4,30	1,93	0,84
08/abr	12,85	5,56	2,02	0,88	26/mai	9,74	4,20	1,85	0,76
09/abr	10,76	5,00	1,76	0,76	27/mai	8,98	3,97	1,84	0,81
10/abr	24,28	5,56	2,47	0,71	28/mai	26,87	5,97	2,84	0,92
11/abr	21,40	5,24	2,39	0,87	29/mai	8,67	3,88	2,06	0,99
12/abr	25,80	6,85	2,53	0,93	30/mai	10,45	4,29	2,13	0,90
13/abr	13,36	4,97	2,11	1,01	31/mai	9,55	4,17	2,01	0,89
14/abr	27,45	9,48	2,63	0,80	01/jun	9,05	4,15	1,91	0,82
15/abr	27,45	11,12	2,76	1,41	02/jun	10,53	4,24	1,95	0,74
16/abr	27,59	10,88	2,83	1,62	03/jun	10,57	4,22	1,94	0,65
17/abr	12,35	6,34	2,25	1,54	04/jun	8,50	4,21	1,77	0,64
18/abr	14,55	5,79	2,31	1,40	05/jun	9,68	4,17	1,96	0,78
19/abr	27,33	6,36	2,66	1,41	06/jun	9,45	4,54	1,85	0,77
20/abr	11,90	5,24	2,09	1,13	07/jun	10,42	4,40	1,88	0,75
21/abr	11,70	5,09	2,00	1,04	08/jun	10,49	4,27	1,84	0,70
22/abr	10,36	4,89	1,91	0,91	09/jun	9,02	3,96	1,85	0,73
23/abr	8,83	4,61	1,85	0,98	10/jun	7,43	3,39	1,75	0,76
24/abr	9,26	4,35	1,87	0,95	11/jun	10,29	3,40	1,99	0,66
25/abr	9,12	4,65	1,84	0,88	12/jun	7,53	3,27	1,73	0,64
26/abr	9,79	4,72	1,84	0,86	13/jun	7,75	3,61	1,76	0,71
27/abr	11,00	4,70	1,91	0,89	14/jun	7,90	3,86	1,84	0,76
28/abr	10,85	4,44	1,90	0,86	15/jun	9,58	4,14	1,94	0,66
29/abr	10,98	4,38	1,92	0,85	16/jun	8,43	4,26	1,89	0,91
30/abr	9,95	4,46	1,91	0,73	17/jun	8,88	4,20	2,04	1,00
01/mai	9,55	4,29	1,86	0,88	18/jun	8,46	4,10	2,04	1,01
02/mai	9,13	4,47	1,84	0,78	19/jun	9,00	4,42	2,03	1,04
03/mai	9,66	4,28	1,84	0,74	20/jun	8,58	4,49	1,97	0,98
04/mai	9,25	4,09	1,86	0,76	21/jun	8,98	3,99	1,86	0,67
05/mai	26,55	7,73	2,82	0,80	22/jun	7,78	3,97	1,80	0,59
06/mai	26,13	6,90	2,84	1,42	23/jun	8,27	3,99		
07/mai	27,03	14,56	2,91	1,04	24/jun	8,34	4,01		
08/mai	26,23	8,25	3,00	1,79	25/jun	7,75	3,60		
09/mai	26,95	11,21	2,98	1,59	26/jun	7,89	3,66		
10/mai	27,09	15,46	2,99	2,04	27/jun	8,28	3,87		
11/mai	26,92	11,20	2,95	1,82	28/jun	7,65	3,73		
12/mai	26,52	10,71	2,86	1,80	29/jun	9,41	3,70		
13/mai	24,80	6,37	2,71	1,65	30/jun	7,91	3,50		

#### C.5. Valores de interesse referentes ao caso de estudo de Caselas

	Março	Abril	Mai	Junho	
$Q_{\text{médio mensal}}$	*	6,14	6,38	3,98	L/s
$Q_{\text{ponta máx}}$	*	27,59	27,09	10,57	L/s
$v_{\text{máx}}$	*	2,83	3,00	2,04	m/s
$v_{\text{min}}$	*	0,71	0,74	0,59	m/s

\* poucos dias de registos para se generalizarem para o mês inteiro

## C.6. Análise de funcionamento da válvula reguladora de caudal no caso de estudo de Caselas

Dia	Qponta ↓	Verificação	Dia	Qmedio ↓	Verificação	Dia	Velocidade máx ↓	Verificação	Dia	Velocidade mín ↑	Verificação
16/abr	27,59	não	10/mai	15,46	sim	08/mai	3,00	sim	22/jun	0,59	não
02/abr	27,52	não	04/abr	14,88	sim	10/mai	2,99	sim	12/jun	0,64	não
14/abr	27,45	não	07/mai	14,56	sim	09/mai	2,98	sim	04/jun	0,64	não
15/abr	27,45	não	09/mai	11,21	sim	11/mai	2,95	sim	03/jun	0,65	não
03/abr	27,43	não	11/mai	11,20	sim	07/mai	2,91	sim	11/jun	0,66	não
04/abr	27,39	não	15/abr	11,12	sim	12/mai	2,86	sim	15/jun	0,66	não
19/abr	27,33	não	16/abr	10,88	sim	28/mai	2,84	sim	21/jun	0,67	não
10/mai	27,09	não	12/mai	10,71	sim	06/mai	2,84	sim	08/jun	0,70	não
07/mai	27,03	não	14/abr	9,48	sim	16/abr	2,83	sim	10/abr	0,71	não
09/mai	26,95	não	08/mai	8,25	sim	05/mai	2,82	sim	13/jun	0,71	não
11/mai	26,92	não	03/abr	7,80	sim	15/abr	2,76	sim	30/abr	0,73	não
28/mai	26,87	não	05/mai	7,73	sim	03/abr	2,71	sim	09/jun	0,73	não
05/mai	26,55	não	06/mai	6,90	sim	13/mai	2,71	sim	03/mai	0,74	não
12/mai	26,52	não	12/abr	6,85	sim	04/abr	2,70	sim	02/jun	0,74	não
08/mai	26,23	não	13/mai	6,37	sim	19/abr	2,66	sim	07/jun	0,75	não
06/mai	26,13	não	19/abr	6,36	sim	14/abr	2,63	sim	04/mai	0,76	não
12/abr	25,80	não	17/abr	6,34	sim	02/abr	2,60	sim	26/mai	0,76	não
13/mai	24,80	não	05/abr	6,16	sim	12/abr	2,53	sim	07/abr	0,76	não
10/abr	24,28	não	17/mai	6,07	sim	10/abr	2,47	sim	10/jun	0,76	não
11/abr	21,40	não	28/mai	5,97	sim	11/abr	2,39	sim	09/abr	0,76	não
07/abr	15,56	sim	16/mai	5,96	sim	18/abr	2,31	sim	14/jun	0,76	não
18/abr	14,55	sim	02/abr	5,86	sim	17/abr	2,25	sim	06/jun	0,77	não
30/mar	14,30	sim	18/abr	5,79	sim	14/mai	2,17	sim	02/mai	0,78	não
19/mai	13,62	sim	15/mai	5,74	sim	30/mar	2,16	sim	05/jun	0,78	não
22/mai	13,41	sim	08/abr	5,56	sim	07/abr	2,16	sim	28/mar	0,80	não
13/abr	13,36	sim	10/abr	5,56	sim	30/mai	2,13	sim	14/abr	0,80	não
08/abr	12,85	sim	14/mai	5,47	sim	05/abr	2,12	sim	05/mai	0,80	não
20/mai	12,65	sim	18/mai	5,42	sim	13/abr	2,11	sim	02/abr	0,80	não
15/mai	12,57	sim	07/abr	5,40	sim	20/abr	2,09	sim	27/mai	0,81	não
17/mai	12,51	sim	06/abr	5,40	sim	29/mai	2,06	sim	01/jun	0,82	não
18/mai	12,48	sim	11/abr	5,24	sim	15/mai	2,05	sim	24/mai	0,84	não
17/abr	12,35	sim	20/abr	5,24	sim	22/mai	2,04	sim	25/mai	0,84	não
20/abr	11,90	sim	19/mai	5,21	sim	17/jun	2,04	sim	30/mar	0,84	não
16/mai	11,72	sim	20/mai	5,15	sim	18/jun	2,04	sim	22/mai	0,85	não
21/abr	11,70	sim	21/abr	5,09	sim	31/mar	2,03	sim	29/abr	0,85	não
05/abr	11,68	sim	09/abr	5,00	sim	19/jun	2,03	sim	28/abr	0,86	não
14/mai	11,16	sim	13/abr	4,97	sim	08/abr	2,02	sim	26/abr	0,86	não
24/mai	11,07	sim	22/abr	4,89	sim	24/mai	2,01	sim	23/mai	0,87	não
27/abr	11,00	sim	22/mai	4,87	sim	31/mai	2,01	sim	11/abr	0,87	não
29/abr	10,98	sim	26/abr	4,72	sim	21/abr	2,00	sim	01/abr	0,88	não
28/abr	10,85	sim	21/mai	4,70	sim	11/jun	1,99	sim	01/mai	0,88	não
09/abr	10,76	sim	27/abr	4,70	sim	06/abr	1,98	sim	08/abr	0,88	não
21/mai	10,72	sim	25/abr	4,65	sim	19/mai	1,98	sim	25/abr	0,88	não
03/jun	10,57	sim	23/mai	4,63	sim	20/jun	1,97	sim	27/mar	0,89	não
02/jun	10,53	sim	23/abr	4,61	sim	05/jun	1,96	sim	27/abr	0,89	não
08/jun	10,49	sim	30/mar	4,58	sim	20/mai	1,95	sim	31/mai	0,89	não
30/mai	10,45	sim	06/jun	4,54	sim	02/jun	1,95	sim	29/mar	0,90	não
07/jun	10,42	sim	31/mar	4,51	sim	16/mai	1,94	sim	30/mai	0,90	não
06/abr	10,41	sim	20/jun	4,49	sim	15/jun	1,94	sim	06/abr	0,91	sim
25/mai	10,40	sim	02/mai	4,47	sim	03/jun	1,94	sim	22/abr	0,91	sim
...											
28/jun	7,65	sim	11/jun	3,40	sim	28/jun			28/jun		
12/jun	7,53	sim	10/jun	3,39	sim	29/jun			29/jun		
10/jun	7,43	sim	12/jun	3,27	sim	30/jun			30/jun		
<b>% registos de incumprimento</b>		<b>20,83</b>			<b>0,00</b>			<b>0,00</b>			<b>54,55</b>

## **ANEXO D**

REPORTAGEM FOTOGRÁFICA DOS CASOS DE ESTUDO

D.1. Reportagem fotográfica de Alforneiros a 27 de Abril de 2017



D.2. Reportagem fotográfica de Caselas aquando de uma obstrução

