

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2012/2013

**REDUÇÃO DE PERDAS REAIS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO
DE ÁGUA ATRAVÉS DO CONTROLO AVANÇADO DE PRESSÃO –
APLICAÇÃO A UM SUBSISTEMA DA CIDADE DO PORTO**

ANA PATRÍCIA PEREIRA MENDES CARDOSO

Dissertação submetida para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri: Fernando Gomes Martins
(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador académico: Joaquim Manuel Veloso Poças Martins
(Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Civil da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador na empresa: Fernanda da Conceição de Abreu Lacerda
(Diretora Técnica da Águas do Porto, EM)

Setembro de 2013

A meus Pais e Avó

O futuro do homem está no oculto do seu saber.

Francis Bacon

AGRADECIMENTOS

A concretização desta dissertação é um marco importante na minha vida académica. Simboliza o terminar de uma etapa extremamente relevante no meu percurso, da qual fizeram parte várias pessoas que não posso deixar de realçar e às quais eu tenho de agradecer:

Ao Professor Doutor Joaquim Manuel Veloso Poças Martins por me ter dado a possibilidade de realizar esta dissertação na Águas do Porto, EM, pela partilha dos seus importantes saberes e pela sua orientação científica.

Aos meus pais e avó por terem sido os propulsores de toda a minha formação académica e pessoal, presentes em todos os momentos da minha vida.

À Engenheira Fernanda Lacerda pela sua prestabilidade no decorrer desta dissertação e pela revisão técnica realizada.

Ao Arménio Miranda pelo constante apoio, orientação, esclarecimentos e dedicação demonstrados durante todo este período.

Ao Engenheiro João Paulo Almeida pelo auxílio e disponibilidade.

À Rita Cunha, à Inês Alves, à Paula Malheiro e à Helena Rodrigues pela boa disposição, companheirismo, simpatia e auxílio.

À Maria João Oliveira pela ajuda, dedicação, incentivo e, essencialmente, pela amizade partilhada ao longo destes cinco anos de faculdade.

Ao Flávio Oliveira, o meu companheiro na sala das ribeiras, pelos ótimos momentos que partilhámos durante a realização desta dissertação, pela entreatajuda nos momentos mais difíceis e pela amizade demonstrada.

Ao António Barbosa, uma das pessoas mais importantes da minha vida, pelo apoio incondicional que me tem proporcionado em todas as fases, boas e menos boas, do meu percurso.

À Ana Rita Batalha, ao Rui Ribeiro e à Sara Campos por, ao longo de muitos anos, acompanharem o meu percurso pessoal e académico e, principalmente, pelos ótimos momentos que partilhámos.

RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo principal avaliar a introdução de válvulas redutoras de pressão em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água e as suas diversas modalidades de controlo, as quais desempenham um papel essencial na estratégia de combate às perdas de água reais por parte das entidades gestoras.

Pressões excessivas e as suas constantes oscilações danificam as infraestruturas da rede de abastecimento, originando, inevitavelmente, fugas e roturas com um conseqüente volume de água perdida. Com isto, é crucial a implementação de válvulas redutoras de pressão, as quais são de fácil instalação e possuem um retorno de investimento relativamente imediato.

Nesta dissertação são aprofundadas as modalidades de funcionamento deste tipo de válvulas, nomeadamente a modulação simples, a modulação horária, a modulação pelo caudal e, com maior destaque, a modulação pelo ponto crítico. Para a sua concretização foi utilizado um *software* comercial de modelação hidráulica, o *WaterGEMS* da *Bentley*, tendo sido simuladas, como estudo de caso, as válvulas localizadas em duas zonas de medição e controlo da rede do Porto: Fonte da Moura e Avenida da Boavista.

Através das simulações realizadas são demonstrados os benefícios resultantes de cada modulação, nomeadamente em termos de redução das perdas de água e dos conseqüentes prejuízos financeiros.

Com recurso ao histórico das roturas ocorridas anterior e posteriormente à colocação da válvula redutora de pressão da Avenida da Boavista são analisados e comprovados os efeitos resultantes da sua instalação.

Como complemento deste estudo foi implementada no terreno a modulação pelo ponto crítico na válvula da Avenida da Boavista. Conseqüentemente, é possível tirar conclusões, à escala real, em relação aos efeitos proporcionados em termos de redução da pressão e da sua flutuação, do caudal mínimo noturno, da fiabilidade do sistema, dos custos inerentes e da sua eficácia.

Através do trabalho realizado na presente dissertação, conclui-se que a incorporação de controladores nas válvulas permite o aumento da eficiência da estratégia de redução das perdas de água reais, comprovada através da redução e estabilização dos valores de pressão a jusante da válvula. No estudo de caso analisado a regulação pelo ponto crítico é superior em termos de resultados de redução e estabilização da pressão. A regulação através de um segundo ponto crítico não se traduz em ganhos de eficácia, na zona de medição e controlo estudada, mas considera-se que tal se deve, essencialmente, à reduzida dimensão da zona.

PALAVRAS-CHAVE: sistema de abastecimento de água, redução de perdas de água reais, válvula redutora de pressão, modulação de válvulas, ponto crítico, ocorrência de roturas.

ABSTRACT

The main objective of this dissertation is to evaluate the introduction of pressure reducing valves in the *Public Water Supply Systems* and its various models of control, which plays an essential role in the strategy for the combat of real water losses, one of the leading objectives of any water companies.

Excessive pressure and its constant variations damages the water supply system infrastructure originating leaks and fissures which leads to a great volume of water lost. The installation of pressure reducing valves is essential, since they are very simple to assemble and with that an immediate return on investment is attained.

In this present study it is explored in more detail the methodologies on the operating of this type of valves, including the simple modulation, the time modulation, the flow modulation and with more impact the modulation by critical point pressure. For the realization of these modulations it was used a commercial *software* of hydraulic simulation, *WaterGEMS* of *Bentley*, where it has been simulated, for a case study, the valves that are located in two monitored and controlled areas in the water network distribution of Oporto city : Fonte da Moura and Avenida da Boavista.

Throughout the simulations results it is demonstrated the benefits of each modulation especially the reduction of the water losses and consequent financial harm.

Using the information of the history of the fissures occurred before and after the assembly of the pressure reducing valve of Avenida da Boavista the results of its installation are analyzed and confirmed its benefits.

So, as to complement this study it was implemented *in situ* the modulation by critical point pressure in Avenida da Boavista's valve. As such it is possible to get conclusions regarding the effects of pressure reduction and its fluctuation, the minimum water flow at night, the reliability of the system, the associated costs and its efficiency.

Throughout the work done during this dissertation, it can be concluded that the implementation of controllers on valves allows the increased of efficiency of the strategy on to reduce the real water losses proven through the reduction and stabilization of the values of pressure at the downstream of the valve. In the analysis of case study, the adjustment by critical point is better in terms of results of reduction and stabilization of the pressure. The adjustment by a second critical point does not translate into gains in efficiency, in the area of measurement and control studied, but it is considered that this is due, mainly, to the small size of the area.

KEYWORDS: water supply system, reduction of real water losses, pressure reducing valve, modulation of valves, critical point, fissure occurrences.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	1
1.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. INTRODUÇÃO AO TEMA	5
2.2. CONSTITUIÇÃO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	6
2.2.1. CAPTAÇÃO	6
2.2.2. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)	6
2.2.3. ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS	7
2.2.4. CONDUTAS ADUTORAS	7
2.2.5. RESERVATÓRIOS DE ARMAZENAMENTO	7
2.2.6. CONDUTAS DE DISTRIBUIÇÃO E RAMAIS DE LIGAÇÃO	7
2.3. ÓRGÃOS E ACESSÓRIOS	8
2.4. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PREDIAL	9
2.5. O SETOR DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM PORTUGAL	10
2.5.1. DEFINIÇÃO DE SISTEMA EM ALTA E SISTEMA EM BAIXA	11
2.5.2. MODELOS DE GESTÃO	11
2.5.2.1. Componente em Alta	11
2.5.2.2. Componente em Baixa	12
2.5.3. LACUNAS E SOLUÇÕES NO SETOR	13
2.6. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO PORTO	13
2.7. PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	17
2.8. CONCEITO DE PERDAS REAIS	18
2.8.1. QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS REAIS	19
2.8.2. CLASSIFICAÇÃO DAS PERDAS REAIS	20
2.8.3. CONTROLO DAS PERDAS REAIS	22

2.8.3.1. Gestão da Pressão	22
2.8.3.2. Qualidade e Rapidez das Reparações de Fugas e Roturas	23
2.8.3.3. Controlo Ativo de Perdas.....	24
2.8.3.4. Reabilitação e Substituição de Infraestruturas	24
2.8.3.5. Zona de Medição e Controlo	25
2.9. REDUÇÃO DA PRESSÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	26
2.9.1. INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA OCORRÊNCIA DE ROTURAS	27
2.9.2. CONCEITO DE VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO	30
2.9.2.1. Funcionamento	31
2.9.2.2. Modalidades de Controlo.....	38
2.9.2.3. Perda de Carga Hidráulica	40
2.9.2.4. Coeficiente de Perda de Carga	41
2.9.2.5. Dimensionamento.....	42
2.9.2.6. Fases do Projeto de Instalação	45
2.9.3. UTILIZAÇÃO DA MODELAÇÃO HIDRÁULICA NA IMPLEMENTAÇÃO DE VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	46
2.9.4. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	48
2.9.4.1. Khayelitsha	48
2.9.4.2. Skopje.....	50
2.9.4.3. Rio Grande do Sul	51
2.9.5. CONCLUSÃO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	52
3. ÂMBITO E OBJETIVOS	55
3.1. ÂMBITO	55
3.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	55
4. AVALIAÇÃO DAS MODALIDADES DE CONTROLO DE VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO – APLICAÇÃO A DUAS ZONAS DE MEDIÇÃO E CONTROLO	57
4.1. INTRODUÇÃO	57
4.2. CONCEÇÃO DO MODELO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE FONTE DA MOURA	58
4.2.1. PADRÃO DO CONSUMO.....	60

4.2.2. DETERMINAÇÃO DO PONTO CRÍTICO	61
4.3. ESTUDO DA VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO DO PONTO DE ENTREGA DE FONTE DA MOURA.....	64
4.3.1. MODULAÇÃO HORÁRIA	64
4.3.2. MODULAÇÃO SIMPLES.....	67
4.3.3. MODULAÇÃO PELO CAUDAL	69
4.3.4. MODULAÇÃO PELO PONTO CRÍTICO	71
4.3.5. ANÁLISE COMPARATIVA.....	73
4.4. PERDAS DE ÁGUA REAIS EM FUNÇÃO DA MODULAÇÃO APLICADA	77
4.4.1. VOLUME DIÁRIO DE ÁGUA PERDIDA	80
4.4.2. POUPANÇA ANUAL	82
4.4.3. EXTRAPOLAÇÃO PARA DIFERENTES ENTIDADES GESTORAS	84
4.4.3.1. Modulação Horária e Modulação Simples	85
4.4.3.2. Modulação pelo Caudal e Modulação pelo Ponto Crítico	85
4.4.3.3. Volume Diário de Água Perdida.....	87
4.4.3.4. Poupança Anual	89
4.4.4. ANÁLISE COMPARATIVA.....	91
4.5. ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE AVARIAS COM A INTRODUÇÃO DA VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO DA AVENIDA DA BOAVISTA.....	93
4.5.1. AVARIAS EM CONDUTAS E RAMAIS.....	95
4.5.2. AVARIAS PARTICIPADAS COM CAP OU COMUNICADAS	98
4.5.3. AVARIAS EM FUNÇÃO DO TIPO DE MATERIAL	99
4.5.4. AVARIAS EM FUNÇÃO DA PRESSÃO	102
4.5.5. CONCLUSÕES	104
4.6. IMPLEMENTAÇÃO DA MODULAÇÃO PELO PONTO CRÍTICO NA VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO DA AVENIDA DA BOAVISTA.....	105
4.6.1. CARACTERÍSTICAS DA VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO	105
4.6.2. PADRÃO DO CONSUMO	105
4.6.3. DETERMINAÇÃO DO PONTO CRÍTICO	106
4.6.4. MODULAÇÃO HORÁRIA	109
4.6.5. MODULAÇÃO COM UM PONTO CRÍTICO	113
4.6.6. ANÁLISE COMPARATIVA.....	115
4.6.7. MODULAÇÃO COM TRÊS PONTOS CRÍTICOS	117
4.6.8. INSTALAÇÃO DA MODULAÇÃO COM UM PONTO CRÍTICO	118

4.6.8.1. Resultados Obtidos	120
4.6.9. INSTALAÇÃO DA MODULAÇÃO COM DOIS PONTOS CRÍTICOS	123
4.6.9.1. Resultados Obtidos	124
4.6.10. CONCLUSÕES	126
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
5.1. CONCLUSÃO	127
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	128
BIBLIOGRAFIA	131
ANEXOS	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2. 1 – Representação esquemática de uma rede ramificada e de uma rede emalhada (Neves, M., 2007)	8
Fig.2. 2 – Representações esquemáticas de sistemas prediais. A) Sistema predial direto B) Sistema predial indireto sem bomba elevatória C) Sistema predial indireto com recurso a bomba elevatória (Adaptado de Ghisi, E., 2004)	9
Fig.2. 3 – Evolução da população portuguesa servida com abastecimento público de água (ERSAR, 2013)	11
Fig.2. 4 – Distribuição dos modelos de gestão e das EG do sistema em alta em Portugal Continental (ERSAR, 2013).....	12
Fig.2. 5 – Distribuição dos modelos de gestão e das EG do sistema em baixa em Portugal Continental (ERSAR, 2013).....	13
Fig.2. 6 – Pontos de ligação à rede de distribuição da cidade do Porto (Miranda, A., 2010).....	15
Fig.2. 7 – Sistema gravítico e respetivos reservatórios (Águas do Porto, EM, 2013b)	15
Fig.2. 8 – Divisão do SAA do concelho do Porto em ZMC	16
Fig.2. 9 – Evolução da ANF em m ³ /d (Águas do Porto, EM, 2013b)	17
Fig.2. 10 – Evolução da ANF – 1º semestre 2007-2013 (Águas do Porto, EM, 2013c)	17
Fig.2. 11 – Relação entre AES e a AF para a diminuição da ANF ao longo do tempo (Martins, J.P., 2012)	19
Fig.2. 12 – Exemplos de dois tipos de perdas de água reais (Lima, D., 2011)	21
Fig.2. 13 – Relação entre o volume de água perdida e a duração da fuga. Legenda: A – Awareness (Perceção); L – Location (Localização); R – Repair (Reparação) (Farley, M., et al., 2008).....	22
Fig.2. 14 – Pontos de medição e controlo num SAA (Farley, M., et al., 2008).....	25
Fig.2. 15 – Setorização de uma rede de abastecimento de água (Alegre, H., et al., 2005).....	26
Fig.2. 16 – Representação gráfica típica da relação entre o consumo, a pressão e as perdas num SAA (Puust, R., et al., 2010)	27
Fig.2. 17 – Roturas em Portugal, na Europa e na América do Norte (Alegre, H., et al., 2005).....	28
Fig.2. 18 – Instalação da VRP do Falcão em câmara de manobra (SAA da cidade do Porto)	31
Fig.2. 19 – VRP do Dragão, pertencente ao SAA da cidade do Porto, instalada em câmara de manobra	31
Fig.2. 20 – Representação dos componentes de uma válvula de globo. Legenda: 1 – corpo; 2 – tampa; 3 – sede; 4 – caixa do obturador; 5 – batente do diafragma; 6 – haste; 7 – porca de fixação; 8 – diafragma; 9 – obturador; 10 – parafusos e porcas; 11 – guia superior e haste; 12 – purga de ar; 13 – mola (Tecnilab Portugal, S.A., 2013a)	32
Fig.2. 21 – VRP da Rotunda AEP, instalada no SAA do Porto, com sistema de acionamento pneumático e controlador	33
Fig.2. 22 – Exemplo de um piloto utilizado em VRP (BERMAD Water Control Solutions, 2013a).....	33

Fig.2. 23 – Representação esquemática do funcionamento de uma VRP de globo com circuito piloto. Legenda: 1 - piloto; 2 – circuito de despressurização; 3 – circuito de pressurização do piloto; 4 – circuito de pressurização da câmara de pressurização; 5 – filtro (Adaptado de Heimann, A., <i>et al.</i> , 2012).....	34
Fig.2. 24 – Filtro em Y e horizontal, respetivamente (Adaptado de BERMAD Water Control Solutions, 2013b).....	35
Fig.2. 25 – Filtro horizontal concebido para integrar uma purga elétrica temporizada (Adaptado de Tecnilab Portugal, S.A., 2013b).....	35
Fig.2. 26 – VRP hidráulica com dois pilotos e programador (Tecnilab Portugal, S.A., 2013c).....	36
Fig.2. 27 – Controlador Pegasus GSM (Hidro Melhoras, Lda, 2013)	36
Fig.2. 28 – Redução da pressão por VRP com pressão de saída modulada por pressão em ponto crítico (Alegre, H., <i>et al.</i> , 2005).....	37
Fig.2. 29 – Representação esquemática de VRP com câmara simples e câmara dupla, respetivamente (Heimann, A., <i>et al.</i> , 2012).....	38
Fig.2. 30 – Perda de carga hidráulica induzida por uma VRP (Bairos, A., 2008)	40
Fig.2. 31 – Gráfico representativo do valor de Kv em função do Re para válvulas totalmente abertas (Bairos, A., 2008).....	41
Fig.2. 32 – Valores de Kv numa VRP de globo para diferentes graus de abertura (Adaptado de Bairos, A., 2008)	41
Fig.2. 33 – Gráfico exemplo referente à possibilidade de cavitação (Tecnilab Portugal, S.A., 2013a)	42
Fig.2. 34 – Modelos de VRP da Tecnilab Portugal, S.A (Tecnilab Portugal, S.A., 2013a)	44
Fig.2. 35 – Interface do <i>WaterGEMS</i> e modelo de uma rede de abastecimento de água	47
Fig.2. 36 – Atribuição dos consumos aos nós (Coelho, S., <i>et al.</i> , 2006)	47
Fig.2. 37 – Etapas necessárias na construção de um modelo de simulação hidráulica (Coelho, S., <i>et al.</i> , 2006).....	48
Fig.2. 38 – Esquema da instalação da VRP de Khayelitsha (Mckenzie, R., <i>et al.</i> , 2009).....	49
Fig.2. 39 – Instalação construída para o controlo de pressão em Khayelitsha (Mckenzie, R., <i>et al.</i> , 2009).....	50
Fig.2. 40 – VRP instalada em câmara de manobra na ZMC de Lisiche (Ristovski, B., 2011).....	50
Fig.2. 41 – Resultados obtidos após a instalação da VRP na ZMC de Lisiche (Ristovski, B., 2011)...	51
Fig.4. 1 – Localização de Fonte da Moura no SAA da cidade do Porto	57
Fig.4. 2 – Representação das condutas da rede de abastecimento de água da ZMC de Fonte da Moura e localização das válvulas	58
Fig.4. 3 – Modelo de simulação hidráulica da ZMC de Fonte da Moura (Miranda, A., 2012).....	59
Fig.4. 4 – VRP em paralelo para a realização dos cenários referentes a cada simulação.....	60
Fig.4. 5 – Variação diária do caudal no ponto de entrega de Fonte da Moura	61
Fig.4. 6 – Nós críticos em Fonte da Moura localizados na Rua António Silva Marinho	63

Fig.4. 7 – Nós críticos em Fonte da Moura localizados na Avenida Dr. Antunes Guimarães; Rua Dr. Pedro Sousa; Rua Pereiró e Rua da Preciosa.....	63
Fig.4. 8 – Nós críticos em Fonte da Moura localizados na Estrada da Circunvalação e Rua da Preciosa.....	64
Fig.4. 9 – Padrão horário utilizado para a modulação horária da VRP de Fonte da Moura.....	66
Fig.4. 10 – Pressão à saída da VRP de Fonte da Moura com modulação horária	66
Fig.4. 11 – VRP de Fonte da Moura com modulação horária.....	67
Fig.4. 12 – VRP de Fonte da Moura com modulação simples.....	68
Fig.4. 13 – Pressão à saída da VRP de Fonte da Moura com modulação pelo caudal	70
Fig.4. 14 – VRP de Fonte da Moura modulada pelo caudal	70
Fig.4. 15 – Padrão horário utilizado para a modulação pelo ponto crítico da VRP de Fonte da Moura.....	71
Fig.4. 16 – Pressão à saída da VRP de Fonte da Moura com modulação pelo ponto crítico	72
Fig.4. 17 – VRP de Fonte da Moura com modulação pelo ponto crítico	72
Fig.4. 18 – Pressão no ponto crítico para as modulações estudadas da VRP de Fonte da Moura	73
Fig.4. 19 – Pressão nos nós da rede de abastecimento de água para as 3,75 horas com a VRP a operar com modulação horária	75
Fig.4. 20 – Pressão nos nós da rede de abastecimento de água para as 3,75 horas com a VRP a operar com modulação simples	76
Fig.4. 21 – Pressão nos nós da rede de abastecimento de água para as 3,75 horas com a VRP a operar com modulação pelo caudal	76
Fig.4. 22 – Pressão nos nós da rede de abastecimento de água para as 3,75 horas com a VRP a operar com modulação pelo ponto crítico	77
Fig.4. 23 – Janela exibida no <i>WaterGEMS</i> para a realização da função PDD.....	78
Fig.4. 24 – Localização do nó de perdas representado a vermelho	79
Fig.4. 25 – Diagrama representativo das simulações de perdas efetuadas.....	79
Fig.4. 26 – Caudal diário de água perdida para cada modulação da VRP obtido pelo PDD – <i>WaterGEMS</i>	82
Fig.4. 27 – Poupança anual obtida com a implementação de cada modulação da VRP	83
Fig.4. 28 – Caudal aproximado e caudal real no ponto de entrega de Fonte da Moura	84
Fig.4. 29 – Pressão no ponto crítico para as modulações horária e simples aplicadas à VRP de Fonte da Moura com um padrão de consumo aproximado.....	85
Fig.4. 30 – Pressão no ponto crítico para a modulação pelo caudal aplicada à VRP de Fonte da Moura com um padrão de consumo aproximado.....	86
Fig.4. 31 – Pressão no ponto crítico para a modulação pelo ponto crítico aplicada à VRP de Fonte da Moura com um padrão de consumo aproximado.....	87
Fig.4. 32 – Caudal diário de água perdida para cada modulação da VRP obtido pelo PDD – <i>WaterGEMS</i> - para outro tipo de EG.....	89

Fig.4. 33 – Poupança anual obtida com a implementação de cada modulação da VRP para outro tipo de EG	90
Fig.4. 34 – Caudal diário de água perdida para diferentes EG com a VRP com modulação horária... 91	91
Fig.4. 35 – Caudal diário de água perdida para diferentes EG com a VRP com modulação simples.. 92	92
Fig.4. 36 – Caudal diário de água perdida para diferentes EG com a VRP com modulação pelo caudal	92
Fig.4. 37 – Caudal diário de água perdida para diferentes EG com a VRP com modulação pelo ponto crítico	93
Fig.4. 38 – Localização das roturas ocorrentes na ZMC de Fonte da Moura de janeiro de 2010 a fevereiro de 2012.....	94
Fig.4. 39 – Localização das roturas ocorrentes na ZMC de Fonte da Moura de março a dezembro de 2012	94
Fig.4. 40 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para Fonte da Moura.....	95
Fig.4. 41 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para condutas e ramais na subZMC	96
Fig.4. 42 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para ramais domiciliários para o período em estudo	96
Fig.4. 43 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para condutas e ramais no exterior da subZMC	97
Fig.4. 44 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para condutas para o ano de 2012	97
Fig.4. 45 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para ocorrências com CAP ou comunicadas na subZMC	98
Fig.4. 46 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para ocorrências com CAP ou comunicadas no exterior da subZMC	98
Fig.4. 47 – Electrosoldadura em PEAD para instalação de um nó de derivação de acessórios, nomeadamente tê.....	99
Fig.4. 48 – Fuga numa soldadura topo-a-topo de uma conduta construída em PEAD	100
Fig.4. 49 – Instalação de condutas em PEAD (Fersil – Freitas & Silva, S.A., 2007)	100
Fig.4. 50 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para condutas e ramais no exterior da subZMC da Avenida da Boavista, em função do material	101
Fig.4. 51 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para condutas e ramais no interior da subZMC da Avenida da Boavista, em função do material	102
Fig.4. 52 – Avarias em função do material e da pressão para o período de tempo anterior à colocação da VRP.....	103
Fig.4. 53 – Avarias em função do material e da pressão para o período de tempo posterior à colocação da VRP para o interior da subZMC	103
Fig.4. 54 – Avarias em função do material e da pressão para o período de tempo posterior à colocação da VRP para o exterior da subZMC	104
Fig.4. 55 – Variação do consumo na subZMC da Avenida da Boavista	106

Fig.4. 56 – Nós críticos na subZMC da Avenida da Boavista localizados na Rua do Molhe	108
Fig.4. 57 – Nós críticos na subZMC da Avenida da Boavista localizados na Rua Júlio Dantas e na Rua Pinho Leal.....	108
Fig.4. 58 – Nós críticos na subZMC da Avenida da Boavista localizados na Rua Alfageme Santarém e localização do data logger na Rua Côrte Real.....	109
Fig.4. 59 – Nós críticos na subZMC da Avenida da Boavista localizados no Largo Nevogilde e na Travessa de Nevogilde.....	109
Fig.4. 60 – Pressão à entrada da subZMC da Avenida da Boavista	110
Fig.4. 61 – Padrão horário utilizado para a modulação horária da VRP da Avenida da Boavista	111
Fig.4. 62 – Pressão à saída da VRP da Avenida da Boavista com modulação horária	111
Fig.4. 63 – VRP da Avenida da Boavista com modulação horária	112
Fig.4. 64 – Padrão horário utilizado para a modulação pelo ponto crítico da VRP da Avenida da Boavista.....	113
Fig.4. 65 – Pressão à saída da VRP da Avenida da Boavista com modulação pelo ponto crítico.....	113
Fig.4. 66 – VRP da Avenida da Boavista com modulação pelo ponto crítico	114
Fig.4. 67 – Pressão no ponto crítico e no data logger com a modulação pelo ponto crítico aplicada à VRP da Avenida da Boavista	115
Fig.4. 68 – Pressão no ponto crítico para as modulações estudadas da VRP da Avenida da Boavista... ..	116
Fig.4. 69 – Pressão no ponto crítico e nos data loggers de Nevogilde, Côrte Real e Meixomil.....	117
Fig.4. 70 – Funcionamento do controlo avançado de pressão com recurso a um ponto crítico (Technolog, 2012)	118
Fig.4. 71 – VRP da Avenida da Boavista com modulação pelo ponto crítico	119
Fig.4. 72 – Caudal e pressão à entrada e à saída da VRP da Avenida da Boavista com modulação pelo ponto crítico	120
Fig.4. 73 – Pressão no data logger de Côrte Real com as modulações horária (em cor-de-rosa) e pelo ponto crítico (a vermelho) da VRP da Avenida da Boavista	121
Fig.4. 74 – Pressão no data logger de Côrte Real com a modulação pelo ponto crítico da VRP da Avenida da Boavista.....	122
Fig.4. 75 – Consumo mínimo registado com as modulações horária e pelo ponto crítico da VRP da Avenida da Boavista.....	123
Fig.4. 76 – Funcionamento do controlo avançado de pressão com dois pontos críticos (Technolog, 2012)	124
Fig.4. 77 – Pressão nos data loggers de Côrte Real e de Nevogilde com a instalação das modulações com um e com dois pontos críticos na VRP da Avenida da Boavista	124
Fig.4. 78 – Pressão no data logger de Nevogilde com as modulações com um e com dois pontos críticos da VRP da Avenida da Boavista.....	125

Fig.4. 79 – Pressão no data logger de Nevogilde com a modulação pelo ponto crítico da VRP da Avenida da Boavista 126

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2. 1 – Método de cálculo do Balanço Hídrico proposto pela IWA (Adaptado de Farley, M., et al., 2008).....	20
Quadro 2. 2 – Medidas a implementar de acordo com a localização das perdas de água reais (Martins, J.P., 2012)	22
Quadro 2. 3 – Valores recomendados para o expoente n (Adaptado de Lambert, A., 2001)	29
Quadro 2. 4 – Valores de referência do indicador AA11ab para os sistemas em alta e em baixa (ERSAR, 2012).....	30
Quadro 2. 5 – Valores exemplo do fator de segurança para os diferentes tipos de válvulas disponíveis pelo fabricante (Tecnilab, Portugal, S.A., 2013a)	43
Quadro 2. 6 – Valores de Kv e modelos de VRP para determinação do DN da válvula (Adaptado de Tecnilab, Portugal, S.A., 2013a)	44
Quadro 2. 7 – Custo de uma VRP considerando a PN e o DN (Adaptado de Bairos, A., 2008).....	45
Quadro 2. 8 – Distribuição das VRP e suas características (Adaptado de Viegas, J., 2001)	52
Quadro 4. 1 – Características da VRP de Fonte da Moura	60
Quadro 4. 2 – Características dos nós mais críticos de Fonte da Moura	62
Quadro 4. 3 – Patamares de pressão definidos no controlador da VRP de Fonte da Moura para a modulação horária.....	65
Quadro 4. 4 – Condições e ações impostas ao controlador para o controlo da VRP de Fonte da Moura modulada pelo caudal	69
Quadro 4. 5 – Características da conduta de simulação de perdas	79
Quadro 4. 6 – Resultados obtidos relativos ao caudal de água perdida para cada modulação da VRP	80
Quadro 4. 7 – Resultados obtidos relativos à poupança anual conseguida para cada modulação da VRP	83
Quadro 4. 8 – Resultados obtidos para o volume de água perdida para cada modulação da VRP para outro tipo de EG	88
Quadro 4. 9 – Resultados obtidos para a poupança anual conseguida para cada modulação da VRP para outro tipo de EG	90
Quadro 4. 10 – Características da VRP da Avenida da Boavista.....	105
Quadro 4. 11 – Características dos nós mais críticos da subZMC da Avenida da Boavista.....	107
Quadro 4. 12 – Modulação horária da VRP da Avenida da Boavista.....	120

SÍMBOLOS

A – Área da secção do orifício (m^2)

AA11abb – Número de avarias em condutas ($n^0/(100 \text{ km.ano})$)

C_d – Coeficiente de vazão (-)

dAA13ab – Avarias em condutas (n^0/ano)

dAA30ab – Comprimento total de condutas (km)

f – Fator horário multiplicativo

g – Aceleração gravítica ($9,8 \text{ m/s}^2$)

H – Pressão mínima necessária (m.c.a.)

k – Coeficiente função do C_d ; A e g (-)

K_v – Coeficiente de perda de carga na válvula (-)

n – Expoente (-)

n^0 – Número

P – Pressão a que o fluido está submetido (m.c.a.)

P_{final} – Pressão final após redução da pressão (m.c.a.)

P_{inicial} – Pressão inicial anterior à redução da pressão (m.c.a.)

P_{jusante} – Pressão à saída da válvula (m.c.a.)

Q – Caudal (m^3/h ; m^3/d)

$Q_{\text{máximo}}$ – Caudal máximo escoado através da válvula (m^3/h)

Q_{final} – Caudal de perdas após redução da pressão (m^3/s)

Q_{inicial} – Caudal de perdas antes da redução da pressão (m^3/s)

$Q_{\text{médio}}$ – Caudal médio de água perdida por rotura (m^3/s)

$Q_{\text{orifício}}$ – Caudal libertado pelo orifício (m^3/s)

$Q_{\text{total mod}}$ – Caudal total de água perdida na modulação horária, pelo ponto crítico ou pelo caudal (m^3/d)

$Q_{\text{total mod simples}}$ - Caudal total de água perdida na modulação simples (m^3/d)

Re – Número de Reynolds (-)

$t_{\text{médio}}$ – Tempo médio de duração de cada rotura (s)

V – Volume total de água perdida (m^3)

v_0 – Velocidade de referência (m/s)

% - Por cento

$^{\circ}\text{C}$ – Grau Celsius

ΔH_v – Perda de carga hidráulica induzida pela válvula (m.c.a.)

ΔP – Diferença entre a pressão de montante e a pressão a regular (bar)

€ - Euros

ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

AES – Água Entrada no Sistema

AF – Água Faturada

ANF – Água Não Faturada

ARH – Administrações das Regiões Hidrográficas

CAP – Controlo Ativo de Perdas

DN – Diâmetro Nominal

EG – Entidade Gestora

ERSAR – Entidade Reguladora de Serviços de Águas e Resíduos

Et al. – E outros

ETA – Estação de Tratamento de Água

Fig. – Figura

FC – Fibrocimento

FF – Ferro Fundido

FFD – Ferro Fundido Dúctil

GPRS – *General Packet Radio Service*

IWA – *International Water Association*

PDD – *Pressure Dependent Demand*

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

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

PVC – Policloreto de Vinilo

PN – Pressão Nominal

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SMAS – Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento

SMS – *Short Message Service*

VRP – Válvula Redutora de Pressão

ZMC – Zona de Medição e Controlo

1

INTRODUÇÃO

1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A água é o elemento mais abundante na Terra e essencial à vida. Porém, atualmente, tem-se constatado que a água passou a ser considerada como um recurso natural cada vez mais escasso, essencialmente em áreas com uma elevada densidade populacional, o que faz com que se seja importante a sua preservação.

Nos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) existem necessariamente perdas de água, classificadas como reais e aparentes. Das perdas reais fazem parte as que são resultantes de fugas e roturas nas condutas e nos órgãos acessórios da rede de distribuição. Estas correspondem a uma fração da Água Não Faturada (ANF) que não é usada para usos autorizados. Porém, é captada, tratada e transportada em infraestruturas com elevado valor patrimonial, o que representa custos de investimento, operação e manutenção elevados. Assim, origina-se um elevado prejuízo ambiental e, fundamentalmente para a Entidade Gestora (EG), é um problema económico e social. Torna-se crucial a sua redução, já que perdas de água elevadas traduzem-se numa reduzida eficiência das EG e, por conseguinte, na destabilização das suas finanças, numa deficiente qualidade do serviço prestado aos consumidores e num aumento do custo da Água Faturada (AF).

As perdas de água reais estão inerentes a todos os SAA, diferindo apenas no volume de água perdida, já que este depende das características da rede de abastecimento de água, de fatores locais, como a topografia do terreno, bem como das práticas operacionais adotadas e do nível de tecnologia e conhecimento aplicados no seu controlo.

As infraestruturas dos sistemas de distribuição estão sujeitas a um grande desgaste, dado que em toda a rede (nas condutas, ramais e acessórios hidráulicos) escoam água sob pressão. As pressões excessivas e as suas constantes variações cíclicas danificam os componentes da rede de abastecimento. Estas, por sua vez, originam fugas e roturas no sistema e, conseqüentemente, um volume de água perdida. Deste modo, é importante a implementação de uma estratégia de gestão da pressão, o que proporciona uma maior sustentabilidade de todo o sistema hidráulico.

A redução da pressão está relacionada com o aumento do tempo de vida útil das condutas, o que faz com que a existência de fugas e roturas se distancie no tempo. Do mesmo modo, é conseguida a diminuição das perdas de água nas fugas e roturas já existentes e, fundamentalmente, nas que são dificilmente detetáveis e, em compensação, é reduzida a Água Entrada no Sistema (AES).

Muitos SAA são projetados considerando um nível mínimo de pressão requerida para os diversos tipos de consumo, porém, em muitos casos, não é feita nenhuma consideração no que respeita aos níveis máximos de pressão.

A redução da pressão com recurso à implementação de Válvulas Redutoras de Pressão (VRP) é considerada uma das formas mais básicas de otimização do sistema e com melhor relação custo-benefício, podendo proporcionar curtos períodos de retorno para a realização de grandes e novos investimentos pela EG. Esta medida tem vindo a ser amplamente implementada em todo o mundo, fundamentalmente nos países mais desenvolvidos e atualizados tecnologicamente em matéria de gestão da pressão. Com este progresso existe um vasto conjunto de fabricantes de válvulas que têm vindo a projetar novos modelos, resultantes da otimização dos anteriores.

Em Portugal a dimensão económico-financeira das perdas de água é a motivação principal das EG para iniciarem a sua estratégia de redução. Presentemente, existe um leque de EG que estão aquém de atingir os seus objetivos, todavia têm noção de que até então é possível poupar mais.

Anteriormente à implementação da estratégia de redução da pressão deve ser realizado um estudo, com recurso a simulações, através de um *software* que combine algoritmos e equações hidráulicas.

A modelação matemática é uma ferramenta muito útil na simulação do comportamento hidráulico de uma rede de um SAA, nomeadamente no que respeita à gestão das perdas reais. Assim, consegue-se determinar os locais da rede onde é possível e importante realizar intervenções com vista à redução da pressão, identificando os nós de consumo submetidos a pressões exageradamente elevadas, bem como os nós onde existem perdas de carga excessivas e, conseqüentemente, pressões insuficientes.

Esta dissertação é realizada no âmbito da redução das perdas de água reais em SAA, sendo principalmente abordada a estratégia de gestão da pressão na rede através da implementação de VRP.

Assim, procedeu-se ao estudo da VRP existente no ponto de entrega de Fonte da Moura e da VRP da Avenida da Boavista, inseridas no SAA da cidade do Porto.

1.2. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está dividida nos capítulos apresentados em seguida.

Capítulo 1 - Introdução

Neste Capítulo é exposto sumariamente o tema desta dissertação.

Capítulo 2 – Pesquisa Bibliográfica

No Capítulo 2 é realizada uma breve descrição dos componentes principais de um SAA típico, é caracterizado o setor de abastecimento de água em Portugal e é abordado o SAA da cidade do Porto.

Em função do âmbito da presente dissertação são definidas e caracterizadas, em diferentes tipos, as perdas de água reais, sendo referidos os procedimentos que as EG devem adotar para o desenvolvimento de uma estratégia eficaz e eficiente para o seu combate, evocando as principais medidas. Posteriormente é dado ênfase à redução das perdas reais a partir da gestão da pressão com a utilização de VRP. Deste modo, é realizada a descrição detalhada dos constituintes e do funcionamento deste tipo de válvulas. São, ainda, descritos os vários tipos de modalidades de controlo (modulação simples, modulação horária, modulação pelo caudal e modulação pelo ponto crítico) e é

feita uma abordagem ao seu dimensionamento. Por último, são referidos casos reais onde já tenha sido eficazmente implementada esta medida.

Capítulo 3 – Âmbito e Objetivos

No Capítulo 3 são definidos o âmbito e os objetivos da presente dissertação, sendo o objetivo principal a avaliação da introdução de VRP na redução das perdas de água reais em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água e das suas diversas modalidades de controlo.

Capítulo 4 – Avaliação das Modalidades de Controlo de Válvulas Redutoras de Pressão – Aplicação a Duas Zonas de Medição e Controlo

No Capítulo 4 são realizadas simulações, com a utilização de um *software* de modelação hidráulica, com vista à determinação da modulação mais eficaz para a VRP existente no ponto de entrega da Zona de Medição e Controlo (ZMC) de Fonte da Moura. Como complemento, são simuladas perdas de água reais na rede, de modo a determinar qual a modulação que garante menores prejuízos ambientais e económico-financeiros. Com vista à extrapolação destes resultados são, igualmente, simuladas perdas para EG com monitorização insuficiente.

Como a EG possui registos acerca do número de roturas existentes antes e após a colocação da VRP da Avenida da Boavista são estudados os efeitos produzidos, através do cálculo do indicador AA11ab da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) relativo à ocorrência de avarias em condutas e ramais.

Para finalizar, com vista à experimentação da modulação pelo ponto crítico são realizadas simulações no *WaterGEMS* para a VRP da subZMC da Avenida da Boavista e, posteriormente, é realizada a sua instalação no terreno utilizando, numa primeira fase, um ponto crítico e, posteriormente, dois pontos críticos.

Capítulo 5 – Considerações Finais

Neste Capítulo são expostas as considerações finais obtidas a partir da realização desta dissertação. Para concluir, são descritas as recomendações para trabalhos futuros, com vista à complementaridade do presente estudo.

2

PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTRODUÇÃO AO TEMA

O abastecimento de água às populações e atividades económicas constitui um desafio estrutural do desenvolvimento das sociedades modernas, isto porque o crescimento dos agregados populacionais origina uma maior necessidade de água para os vários usos. Esta realidade veio obrigar à prática de tecnologias avançadas e à adoção de modelos de gestão mais robustos e que melhor se adequem às exigências. Em matéria de abastecimento de água existe um conjunto de princípios que devem ser cumpridos, a saber: universalidade de acesso, continuidade e qualidade do serviço, eficiência e igualdade de tarifas.

Até meados do século XX as massas de água foram abundantemente utilizadas sem a salvaguarda da sua capacidade de regeneração, o que originou a sobre-exploração dos recursos hídricos e a degradação das águas superficiais. Do mesmo modo, a gestão do abastecimento de água teve, frequentemente, como objetivo prioritário a salvaguarda da oferta em detrimento da qualidade. Além disso, muitas das infraestruturas criadas foram concebidas para necessidades de água superiores às exigências. Estes fatores juntamente com uma má gestão dos SAA por parte das EG dos setores em alta e em baixa fizeram com que o setor de abastecimento de água em Portugal tivesse de ser modificado e reestruturado.

Porém, presentemente, ainda persistem lacunas, apesar de terem vindo a ser substituídas por uma gestão mais eficiente, devido não somente às imposições legais, como também pela consciencialização de que os desperdícios de água estão associados a uma dimensão ambiental e económica. São, então, evidentes as dificuldades em alguns municípios no cumprimento das exigências ao nível deste setor. Além disso, as tarifas cobradas aos utilizadores finais têm constituído uma outra condicionante no seu desenvolvimento, pela manutenção de preços baixos ou por vezes inexistentes. Isto resulta numa falta de sustentabilidade económico-financeira dos sistemas por não refletirem adequadamente os custos incorridos com a prestação de serviços, dando sinais errados ao mercado e aos utilizadores, o que não incentiva o consumo eficiente de um recurso atualmente escasso.

As perdas de água são parte integrante de todas as redes de abastecimento e representam uma das principais fontes de ineficiência das EG dos SAA. Segundo Farley, M., *et al.* (2008) anualmente são perdidos mais de 32 bilhões de m³ de água tratada, em resultado de fugas e roturas nas redes de distribuição. Adicionalmente, cerca de 16 bilhões de m³ de água são entregues aos clientes e não são faturados, devido a roubo, corrupção ou erros de medição.

Tradicionalmente, a gestão das perdas de água e a deteção de fugas e roturas tem surgido tardiamente nos mecanismos operacionais das redes de abastecimento. Contudo, nos últimos anos a concretização

de uma estratégia de redução das perdas de água tornou-se numa das principais tarefas operacionais das redes de distribuição. Isto resultou de uma combinação entre a escassez de água no mundo, a privatização e a regulação. Assim, as empresas do setor tornaram-se cada vez mais responsáveis e cumpridoras dos trâmites legais, perante os consumidores, acionistas e entidades reguladoras (Farley, M., 2003).

Muitas empresas de água, principalmente em países desenvolvidos, estão a desenvolver corretamente uma estratégia de combate às perdas de água, porém o seu desempenho encontra-se limitado pela existência de infraestruturas mais antigas ou pela topografia íngreme. Para estas situações, os fatores críticos são o investimento, o conhecimento técnico e a tecnologia. Contudo, a grande parte das empresas deste setor requerem, primeiramente, uma mudança organizacional e o compromisso da gestão de topo (Martins, J.P., 2009).

2.2. CONSTITUIÇÃO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os SAA são definidos como um conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o fornecimento de água, em condutas sobressão, às comunidades, para fins de consumo doméstico, industrial e público.

Da componente em alta fazem parte integrante a captação, o tratamento na Estação de Tratamento de Água (ETA), as estações elevatórias, a conduta adutora elevatória e, geralmente, os reservatórios de entrega. Por sua vez, a componente em baixa é assegurada pelos reservatórios de distribuição, pela conduta adutora gravítica e pela rede de distribuição, da qual fazem parte as condutas de distribuição e os ramais de ligação.

É de salientar que o sistema em baixa, devido a exigências topográficas, poderá ser equipado com estações elevatórias. Porém, esta situação é pouco comum já que se beneficia da elevação da água pela componente em alta, de modo a conseguir um sistema em baixa do tipo gravítico. Assim, são minimizados custos relacionados com o projeto, conceção e exploração. Nos subcapítulos seguintes são descritos os principais constituintes de um SAA.

2.2.1. CAPTAÇÃO

Os SAA devem recorrer às melhores origens de água disponíveis, mediante os consumos a satisfazer e a necessidade de racionalizar os recursos hídricos. As captações de água poderão ter origem superficial ou subterrânea. Segundo Pereira, F. (2009) as obras de captação devem ser dimensionadas e construídas para funcionar em qualquer época do ano. Devem ainda permitir a retirada de água para o sistema de abastecimento em quantidade suficiente e com a melhor qualidade possível.

2.2.2. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

É na ETA que a água captada se transforma em água potável, através de processos físicos, químicos e biológicos. Existem normas internacionais e legislação nacional que fixam valores limite, que têm obrigatoriamente de ser respeitados para que a água seja considerada água para consumo humano (Neves, M., 2007).

2.2.3. ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS

As estações elevatórias são utilizadas para a introdução de incrementos de energia hidráulica em escoamentos sobressão, de modo a que sejam ultrapassados os desníveis topográficos negativos. Estas podem ser parte integrante na captação e na adução. As estações elevatórias são constituídas por uma câmara de manobra, onde são instalados os equipamentos hidráulicos, mecânicos e elétricos, de controlo de comando e de proteção, e por um reservatório de regularização, destinado a acumulação e regularização de um volume de água. (Neves, M., 2007).

2.2.4. CONDUTAS ADUTORAS

A adução, num SAA, corresponde ao transporte de água até aos reservatórios ou entre reservatórios. O transporte de água em condutas em escoamento sobressão constitui o tipo de adução mais utilizado. As condutas adutoras podem ser gravíticas, a utilizar sempre que as condições topográficas locais o permitam, ou elevatórias. Esta última hipótese é a menos viável economicamente, porque está inerente a existência de uma estação elevatória, sendo o transporte de água realizado com recurso a bombas hidráulicas. É de salientar que ao longo de um sistema de adução não existe abastecimento de água à população (Neves, M., 2007).

2.2.5. RESERVATÓRIOS DE ARMAZENAMENTO

O armazenamento, em reservatórios de entrega ou de distribuição, é fundamental na regularização dos caudais, quando os caudais afluentes são superiores aos cedidos, compensando as flutuações de consumo face à adução. Os reservatórios garantem o abastecimento na ocorrência de avarias no sistema de alimentação, equilibram as pressões na rede de distribuição e regularizam o funcionamento das estações elevatórias (Neves, M., 2007).

2.2.6. CONDUTAS DE DISTRIBUIÇÃO E RAMAIS DE LIGAÇÃO

As redes de distribuição de água são instaladas junto das construções, em arrumamentos ou vias de acesso, às quais se prevê o abastecimento domiciliário de água potável. As redes são constituídas por condutas principais e condutas secundárias. As condutas principais deverão ser instaladas na proximidade dos edifícios com maiores exigências em termos de consumos e proteção contra incêndios. As condutas secundárias fazem parte das ramificações da rede principal e têm como objetivo encaminhar a água desde a rede principal até aos locais de consumo (Neves, M., 2007).

Os ramais de ligação fazem a conexão entre a rede pública de abastecimento de água e o limite da propriedade a servir (Baptista, F., 2011).

A rede poderá ser de dois tipos: ramificada ou emalhada, como é possível visualizar na Figura 2.1. Uma rede ramificada exige um menor investimento inicial, comparativamente com a rede emalhada. Por outro lado, se houver uma avaria numa conduta o abastecimento será cortado em toda a rede situada a jusante. Ao invés, para uma rede emalhada a alimentação de uma dada secção não ficará interrompida, já que o escoamento poderá realizar-se em ambos os sentidos. Apesar da rede emalhada conferir um maior custo de investimento inicial. Este é em grande parte compensado pelas vantagens de exploração que oferece (Neves, M., 2007).

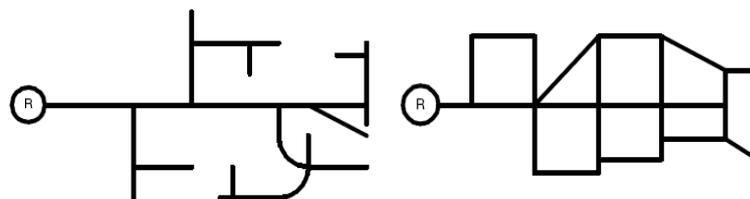


Fig.2. 1 – Representação esquemática de uma rede ramificada e de uma rede emalhada (Neves, M., 2007)

2.3. ÓRGÃOS E ACESSÓRIOS

Um SAA é constituído por condutas que permitem o transporte de água entre os vários pontos de consumo em escoamento sobressão. No seu dimensionamento é importante considerar o material em que estas são constituídas, já que este influencia a sua aplicabilidade e as suas características físico-químicas, tais como a resistência à corrosão, a condutibilidade térmica e a compatibilidade com a água. Os materiais que existem como maior frequência são o Polietileno de Alta Densidade (PEAD), o Policloreto de Vinilo (PVC), o Ferro Fundido (FF), o Ferro Fundido Dúctil (FFD) e o Fibrocimento (FC). Atualmente, os materiais mais utilizados são o PEAD e o FFD, devido a razões técnicas e económicas (Lima, D., 2011). Independentemente do tipo de material e do seu custo é importante garantir a preservação da qualidade da água ao longo da rede de distribuição.

Existe uma elevada quantidade de acessórios essenciais para efetuar a ligação entre os troços de condutas, podendo o tipo de material variar ao longo da rede de distribuição. Destacam-se as curvas, os tês e cruzetas, os cones de redução, as juntas de transição, as juntas de ligação e as juntas cegas. Para um bom funcionamento de uma rede de distribuição de água fazem parte acessórios funcionais e de segurança, que permitem o manuseamento e o controlo da rede e a realização de operações e ações de segurança. Estes acessórios são apresentados de seguida e descritos de acordo com o Decreto Regulamentar nº23/95 de 23 de agosto.

- Válvula de seccionamento – Interrompe o transporte de água na rede de abastecimento e isola troços da rede.
- Válvula de retenção – Impede a inversão do sentido do fluxo de água.
- Descarga de fundo – Elimina detritos acumulados nos pontos mais baixos da rede e possibilita o esvaziamento das condutas.
- Ventosa – É colocada nos pontos altos da rede de abastecimento para a libertação do ar aprisionado no interior das condutas.
- Junta de ligação – Estabelece a ligação entre os vários elementos que fazem parte da rede de distribuição.
- Junta cega – Fecha as extremidades das condutas.
- Câmara de perda de carga e VRP – Regulam a pressão ao longo da rede.
- Caudalímetro – Determina o volume de água escoado, podendo fazer a leitura do caudal instantâneo e proceder ao registo dos valores medidos.
- Manómetro – Determina a pressão da água escoada ao longo da conduta.
- Bocas de rega e de lavagem – São função da organização urbanística dos aglomerados populacionais, nomeadamente do arruamento e da existência de espaços verdes.
- Hidrantes – Destes fazem parte os marcos de água e as bocas de incêndio. São de uso exclusivo por parte das corporações dos bombeiros e serviços municipais.
- Câmara de manobra – Destina-se fundamentalmente à instalação de acessórios no sistema e facilita o acesso para a observação e realização de operações de leitura e de manobra.

2.4. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PREDIAL

O abastecimento de água da rede pública a um edifício pode ser realizado de diferentes formas, mediante condições de pressão e caudal proporcionadas pela rede e de acordo com a altura dos edifícios.

Existem essencialmente dois tipos de abastecimento de água predial a saber: alimentação direta e alimentação indireta. Na alimentação direta a água é distribuída diretamente para os diferentes dispositivos, enquanto na alimentação indireta existe a necessidade de utilização de um reservatório (designado correntemente por cisterna) para que o fornecimento seja efetuado em boas condições (Baptista, F., 2011).

Na alimentação direta o principal inconveniente consiste na irregularidade do abastecimento público com a variabilidade da pressão ao longo do dia, provocando problemas no funcionamento de determinados aparelhos (Ghisi, E., 2004).

A alimentação indireta é utilizada apenas em edifícios para os quais a alimentação direta não é suficiente, pois possuem um elevado número de patamares. Neste sistema predial indireto com recurso a bomba elevatória estão acrescidos custos energéticos, em comparação com os restantes tipos de sistemas de abastecimento predial.

Quando a água, proveniente da rede pública, possui pressão suficiente para ascender até ao último patamar do edifício, sem recurso a bomba elevatória, esta é acumulada num reservatório. De seguida, pela atuação da força gravítica, a água tem um movimento descendente, abastecendo as habitações. É nas horas de menor consumo que a água possui pressão suficiente para ascender até ao último patamar. Este sistema corresponde ao sistema predial indireto sem recurso a bomba elevatória (Baptista, F., 2011).

Independentemente do sistema predial em questão, existe ainda um dispositivo designado por totalizador, que mede o caudal de água consumido pelos utilizadores de um prédio. Na Figura 2.2 estão representados os diferentes tipos de sistemas prediais de abastecimento de água.

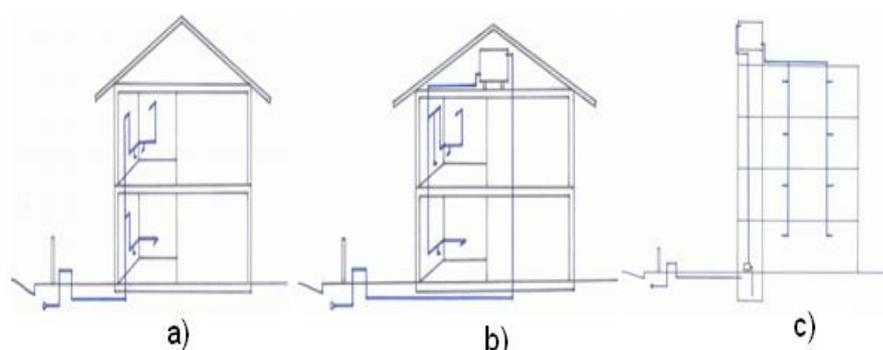


Fig.2. 2 – Representações esquemáticas de sistemas prediais. A) Sistema predial direto B) Sistema predial indireto sem bomba elevatória C) Sistema predial indireto com recurso a bomba elevatória (Adaptado de Ghisi, E., 2004)

2.5. O SETOR DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM PORTUGAL

A entrada para a Comunidade Económica Europeia veio dotar o Estado Português de recursos financeiros para efetuar investimentos no setor, o que gerou responsabilidades adicionais relativas ao cumprimento das obrigações, decorrentes das disposições do direito comunitário em matéria de ambiente. Assim, em 1993, segundo os Decretos-Lei nº 372 e 379/93 de 29 de outubro e 5 de novembro, respetivamente, definiram-se linhas de orientação subjacentes à estratégia de melhoria da cobertura e da qualidade do serviço prestado aos cidadãos. Estas linhas de orientação passavam, essencialmente, por atribuir a responsabilidade dos serviços de distribuição de água às autarquias, devendo este investimento ser complementado pela administração central, com a criação de sistemas multimunicipais. Igualmente, foi possibilitada a gestão indireta por parte dos municípios e a criação, nos sistemas multimunicipais, de condições para uma gestão partilhada com os municípios, abrindo ainda a possibilidade de participação de capitais e de conhecimentos privados. A criação de sistemas multimunicipais permitiu o desenvolvimento de soluções integradas envolvendo um conjunto de municípios, especialmente quando os investimentos, devido à complexidade das situações ambientais a resolver, excedessem a capacidade técnica, financeira e de gestão de cada município. É também nesta fase que é criada a empresa pública Águas de Portugal – AdP, SGPS, S.A. (ERSAR, 2013).

Em 1999 o Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território criou o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR). O PEAASAR foi concretizado devido às positivas experiências conseguidas com a primeira geração de sistemas multimunicipais e às dificuldades reveladas pelos municípios, na realização atempada e eficaz dos projetos financiados pelo Fundo de Coesão. O PEAASAR reforçou as linhas de orientação, anteriormente definidas, com a promoção de soluções integradas, a ampliação dos sistemas existentes, a constituição de novos sistemas, a promoção da qualidade das origens da água, a adequação e a reabilitação de estações de tratamento, a redução de perdas de água e a reutilização de águas residuais tratadas. Em 2006 verificou-se que, apesar dos progressos alcançados, existiam questões fundamentais por resolver, sendo necessário reforçar a estratégia. Deste modo, surgiu o PEAASAR II para o período de implementação entre 2007 e 2013 (ERSAR, 2013).

Hoje em dia, as Administrações das Regiões Hidrográficas (ARH) são as entidades fiscalizadoras das EG e a ERSAR assegura a regulação dos serviços, em termos estruturais, económicos, qualidade de serviço e qualidade da água para consumo humano, independentemente do modelo de gestão aplicado. Em 2007 foi aprovada a Lei nº2/2007 de 15 de janeiro que esclarece que é da competência da ERSAR a regulação dos preços e tarifários praticados pelas EG (ERSAR, 2013). Na Figura 2.3 é possível constatar que existe uma evolução positiva da população servida a partir do sistema público de abastecimento de água.

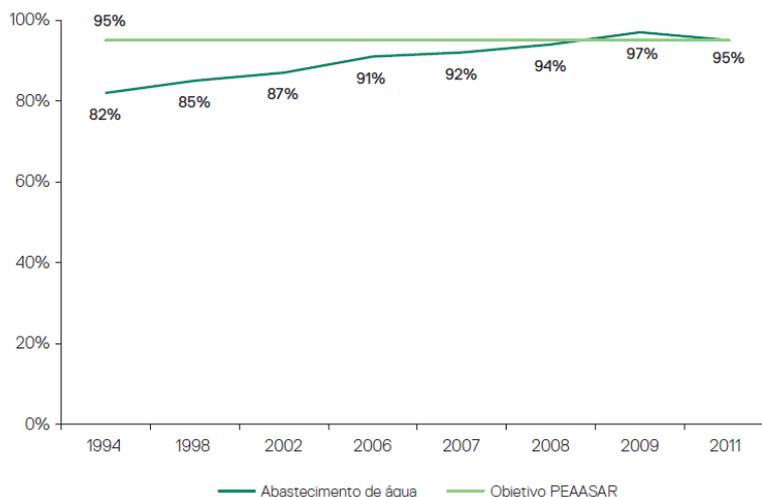


Fig.2. 3 – Evolução da população portuguesa servida com abastecimento público de água (ERSAR, 2013)

2.5.1. DEFINIÇÃO DE SISTEMA EM ALTA E SISTEMA EM BAIXA

A conceção de um SAA integra dois conceitos relacionados com as suas infraestruturas, o sistema em alta e o sistema em baixa. O sistema em alta inclui as componentes responsáveis pela captação, pelo tratamento e pela adução e, por vezes, pelo armazenamento de água em reservatórios de entrega, fazendo a ligação entre o meio hídrico e o sistema em baixa. Já o sistema designado em baixa estabelece a conexão entre o sistema em alta e o utilizador final. Este é constituído por elementos relacionados com a distribuição de água à população, os respetivos ramais de ligação e os reservatórios de entrega, caso estes não façam parte integrante da rede em alta. Cada um destes sistemas é gerido por uma EG, que estabelece os seus critérios de exploração.

2.5.2. MODELOS DE GESTÃO

Em Portugal, em matéria de abastecimento de água, aplicam-se três diferentes modelos de gestão: a gestão direta, a delegação e a concessão do serviço. Qualquer que seja o modelo de gestão aplicado, por parte da EG, os serviços devem ser prestados de acordo com vários princípios e devem ser prosseguidos de forma eficaz, de modo a oferecer, ao menor custo para os utilizadores, elevados níveis de qualidade. Os sistemas municipais ou intermunicipais podem estar associados a uma gestão direta ou a uma concessão, por concurso, por parte de uma entidade pública ou privada de natureza empresarial. Já os sistemas multimunicipais exigem um investimento predominantemente feito pelo Estado, podendo ser a respetiva gestão e exploração diretamente efetuada pelo Estado ou atribuída, em regime de concessão, a uma entidade pública de natureza empresarial, ou a uma empresa que resulte de associação de entidades públicas.

2.5.2.1. Componente em Alta

De acordo com ERSAR (2013) verifica-se que são as concessionárias multimunicipais que detêm um maior número de municípios. Consequentemente, a concessão é o tipo de modelo de gestão no setor em alta com um maior número de população abrangida. As concessionárias multimunicipais cobrem grande parte do país, 95% da população e 89% dos municípios que possuem serviço de abastecimento público de água em alta. Relativamente ao serviço de abastecimento verticalizado este abrange 107 municípios e um total de 3,6 milhões de habitantes, concentrando-se, na maior parte, no centro do

País. Os restantes submodelos têm uma representatividade marginal, à exceção das parcerias Estado/município, que intervêm em cerca de 23% do território de Portugal Continental. Estas constatações estão ilustradas na Figura 2.4, apresentada em seguida.

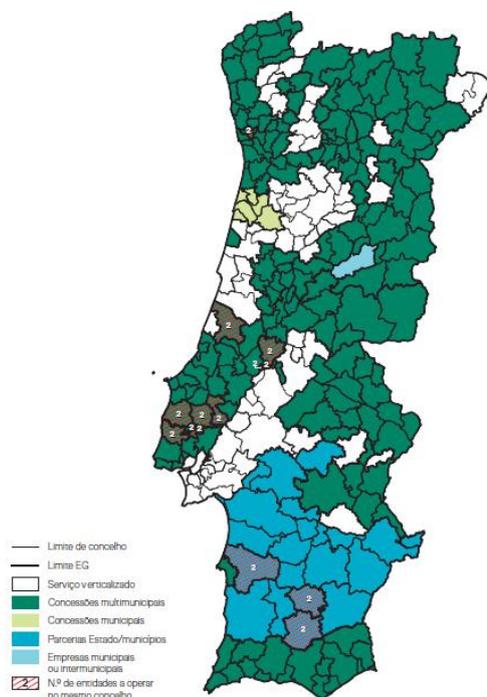


Fig.2. 4 – Distribuição dos modelos de gestão e das EG do sistema em alta em Portugal Continental (ERSAR, 2013)

2.5.2.2. Componente em Baixa

Relativamente à componente em baixa, segundo ERSAR (2013), observa-se que os serviços municipais são o submodelo de gestão com maior representatividade, dado que abrangem 191 municípios e 3,2 milhões de habitantes, sendo esta tipologia predominante em zonas rurais. Já as concessões multimunicipais são caracterizadas por prestarem serviço em áreas urbanas, possuindo uma maior densidade populacional comparativamente com os serviços municipais.

As concessionárias municipais, as empresas municipais ou intermunicipais e os serviços municipalizados são igualmente submodelos de gestão com peso no setor do abastecimento de água em baixa, já que, apesar de abrangerem um menor número de municípios, as características urbanas das suas áreas de intervenção explicam a elevada percentagem de população servida. Estes factos são visíveis na Figura 2.5.

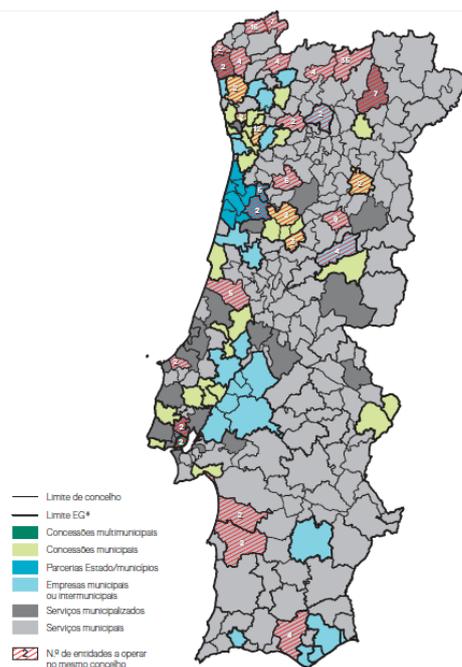


Fig.2. 5 – Distribuição dos modelos de gestão e das EG do sistema em baixa em Portugal Continental (ERSAR, 2013)

2.5.3. LACUNAS E SOLUÇÕES NO SETOR

Atualmente, em termos estruturais, subsiste uma deficiente articulação entre as vertentes em alta e em baixa, um elevado número de sistemas de pequenas dimensões, essencialmente na componente em baixa, e a falta de regulamentação dos modelos de gestão direta autárquica. São ainda evidentes: o elevado nível de ANF, a deficiente conceção, projeto e construção de infraestruturas, a dificuldade de cobertura de necessidades de investimento e custos de financiamento, o elevado volume de dívidas por parte das EG e os incumprimentos da legislação ambiental em vigor (KPMG, Consultores de Gestão S.A., 2011).

Em consequência e como meio de incremento da eficiência neste setor propõe-se uma integração horizontal, com a agregação de vários municípios numa única EG, como forma de aproveitamento e maximização das economias de escala e rentabilização do investimento. Igualmente, promove-se uma integração vertical, a qual consiste na incorporação de competências múltiplas mas integradas nas empresas, com vista à maximização do aproveitamento das oportunidades de mercado (KPMG Consultores de Gestão S.A., 2011).

2.6. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO PORTO

O primeiro SAA na cidade do Porto era constituído por pequenas captações individuais e dispersas de minas, poços, bolhões, ribeiras, fontes e chafarizes. O crescimento da cidade e, conseqüentemente, o aumento da necessidade de água originaram a degradação gradual da sua qualidade nas ribeiras e linhas de água. Em meados do século XIX, devido à industrialização da cidade, a situação tornou-se insustentável, já que a quantidade de água para o abastecimento era insuficiente e não existia sistema de saneamento.

Posteriormente a 1855 surgiram várias companhias candidatas ao projeto e execução de obras de captação, elevação, transporte e distribuição domiciliária. A 22 de março de 1882 foi celebrado o

primeiro contrato de concessão do SAA público na cidade, sendo a concessionária a *Compagnie Générale des Eaux pour l'Étranger*. Mais tarde foi assinado o contrato sobre a captação da água nos rios Ferreira e Sousa, os quais dispunham de água com qualidade e abundância para as exigências da época (Águas do Porto, EM, 2013a).

A implementação do SAA foi um marco importante para a melhoria das condições de higiene da cidade do Porto, contudo, com o decorrer dos anos, verificaram-se incumprimentos de obrigações contratuais, nomeadamente a falta de manutenção, o fornecimento de água imprópria para consumo e um caudal diário por habitante reduzido, relativamente ao estabelecido no contrato de concessão. Com isto, em 1927, a Câmara Municipal do Porto viu-se obrigada a resgatar a companhia com a criação dos Serviços Municipalizados de Águas e Saneamento (SMAS) (Águas do Porto, EM, 2013a).

Com o objetivo de melhorar a qualidade do serviço prestado, os SMAS fizeram reformulações na central do Sousa, construíram a torre/reservatório dos Congregados e os reservatórios do Carvalhido, do Bonfim, do Amial, de Fonte da Moura e de Ramalde, substituíram condutas e alargaram a rede de abastecimento (Lima, D., 2011).

Em 2006 os SMAS do Porto possuíam uma rede com cerca de 120 anos de existência e com uma extensão de 741 km. A EG apresentava um desempenho operacional e financeiro deficiente. Por sua vez, as elevadas perdas de água, as praias interditas, as ribeiras poluídas, os clientes insatisfeitos, as contas deficitárias e os trabalhadores desmotivados originaram a extinção dos SMAS (Lima, D., 2011).

Com os objetivos de reestruturação e reorganização, em outubro de 2006, foi criada a empresa municipal Águas do Porto, EM, tendo as suas atividades alargadas para além da distribuição de água e drenagem e tratamento de águas residuais. Estas consistiam na drenagem de águas pluviais, na gestão de ribeiras, na gestão da frente marítima e na promoção da educação ambiental e participação pública. Deste modo, são desenvolvidos pela empresa 6 projetos: Projeto Porto Sem Perdas, Projeto Porto Gravítico, Projeto Porto Saneamento 100%, Projeto Novas Águas Pluviais do Porto, Projeto Ribeiras do Porto e o Projeto Porto Bandeira Azul.

De acordo com os dados de Águas do Porto, EM (2013b) esta EG serve, em 31 de dezembro de 2012, 150697 clientes, o que equivale a uma população de 500.000 pessoas, e fornece diariamente, em média, 45755 m³ de água.

A cidade do Porto é abastecida a partir das captações de Lever I – Gaia, Lever II – Porto e ETA de Lever, da responsabilidade da empresa em alta – Águas do Douro e Paiva, S.A., segundo dois eixos adutores principais, um a Norte através da Circunvalação, e outro a Sul, que abastece o reservatório de Nova Sintra. O sistema adutor em alta desenvolve-se a partir da ETA de Lever até aos reservatórios multimunicipais de Jovim e de Ramalde e, a partir destes, o fornecimento de água efetua-se através de 12 pontos de entrega para o sistema em baixa. A partir dos pontos de entrega as condutas principais fazem a adução das reservas em baixa, em articulação com 6 reservatórios, os quais correspondem a uma capacidade total de armazenamento de 125450 m³. A rede de abastecimento de água tem uma extensão de 757 km, em que 41 km são condutas de adução e 716 km são condutas de distribuição, e possui cerca de 64000 ramais domiciliários. Desta fazem também parte um conjunto de acessórios, tais como marcos de incêndio, VRP e válvulas de seccionamento (Águas do Porto, EM, 2013b).

Na Figura 2.6 estão representados os pontos de ligação à rede de distribuição da cidade do Porto.

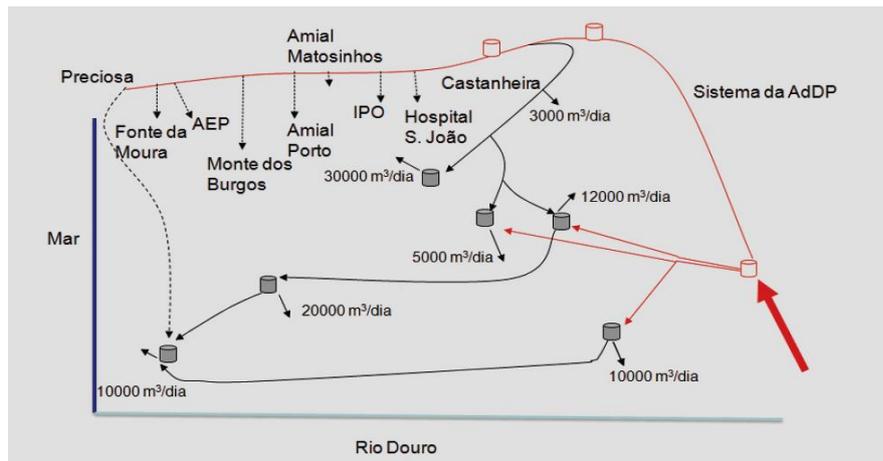


Fig.2. 6 – Pontos de ligação à rede de distribuição da cidade do Porto (Miranda, A., 2010)

A distribuição de água é praticamente na sua totalidade gravítica, com exceção da ZMC Congregados Superior, onde o abastecimento é feito por bombagem, a partir do reservatório dos Congregados. Tal deve-se ao facto desta zona da cidade se encontrar a uma cota topográfica de 180 m. As estações elevatórias de Santo Isidro, Nova Sintra, Bonfim e Pasteleira foram desativadas, porém estas são mantidas em condições de operacionalidade, de modo a poderem ser usadas em casos de emergência ou avaria (Águas do Porto, EM, 2013b). O novo SAA do Porto, assente na força da gravidade a partir dos pontos de entrega da Águas do Douro e Paiva, S.A., está apresentado na Figura 2.7 com os respetivos reservatórios e as suas cotas.

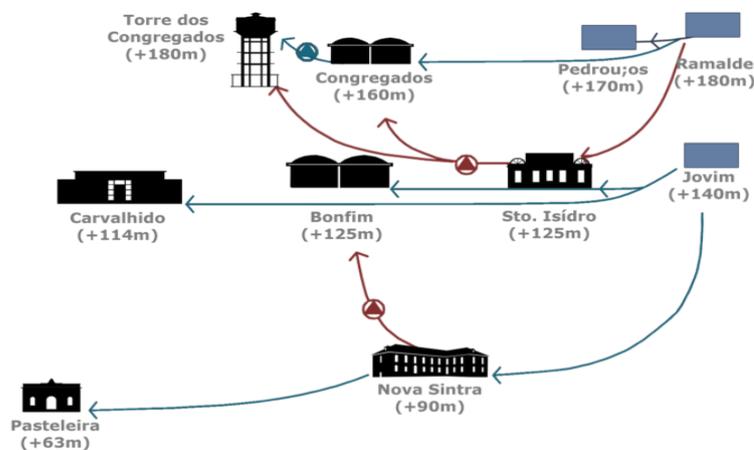


Fig.2. 7 – Sistema gravítico e respetivos reservatórios (Águas do Porto, EM, 2013b)

O SAA do Porto encontra-se dividido em 19 ZMC, como se verifica na Figura 2.8. Cada uma destas zonas possui equipamentos de monitorização e controlo digital, em tempo real, do caudal e da pressão nos pontos de entrega do sistema e nos reservatórios (Águas do Porto, EM, 2013b).

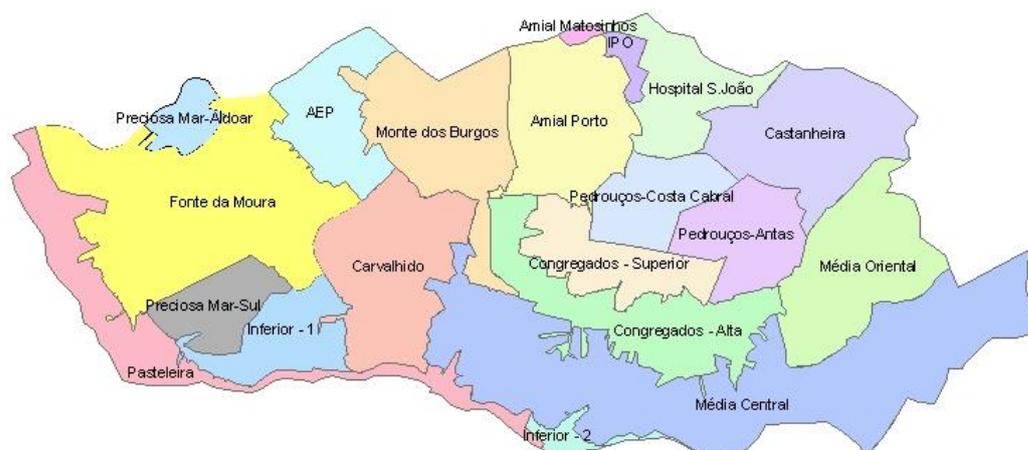


Fig.2. 8 – Divisão do SAA do concelho do Porto em ZMC

No âmbito do Projeto Porto Sem Perdas foi possível a redução do volume de água perdida. Numa primeira fase, em 2006, a empresa centrou este projeto num conjunto de medidas destinadas a melhorar a gestão operacional da rede, nomeadamente com o Controlo Ativo de Perdas (CAP) vocacionado para a deteção precoce de fugas, a sua rápida reparação e o controlo da pressão na rede de abastecimento. Em contrapartida, a partir do ano de 2009, avançou-se para medidas que carecem investimentos significativos, com a execução de um plano de remodelação da rede, através da substituição das condutas que nos últimos anos apresentaram um maior número de roturas. Conseguiu-se, até ao momento, a substituição de 102,5 km de condutas numa rede com uma extensão de 757 km (Águas do Porto, EM, 2013b).

Um dos pilares da estratégia da redução de perdas reais é o controlo da pressão. Assim, a empresa procedeu, igualmente, à setorização da rede de distribuição, com a criação de novas zonas, e, conseqüentemente, à escolha do reservatório mais adequado para abastecer cada zona da cidade, em função das pressões solicitadas. Seguidamente, instalaram-se VRP, as quais permitiram reduzir a pressão, principalmente, nos períodos de menor consumo. Presentemente, a rede de abastecimento de água do Porto possui 13 VRP, 10 instaladas em subZMC e 3 localizadas nos pontos de entrega. Algumas destas estão equipadas com sistemas de monitorização e de telegestão da rede, para controlo em tempo real da água que entra no sistema, dos caudais distribuídos e das pressões (Águas do Porto, 2013b).

A implementação destas e outras medidas permitiu uma redução significativa da ANF do sistema, de 56000 m³/dia para 16046 m³/dia, o que corresponde a uma diminuição de 71% entre 2006 e 2012, como é possível verificar na Figura 2.9 (Águas do Porto, EM, 2013b).

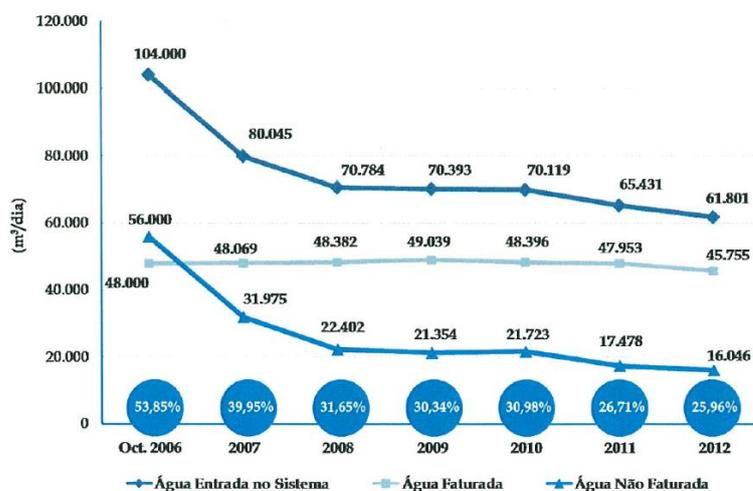


Fig.2. 9 – Evolução da ANF em m³/d (Águas do Porto, EM, 2013b)

No 1º semestre de 2013, tal como observado na Figura 2.10, as perdas de água decresceram acentuadamente para 23,9%, enquanto que no mesmo período do ano anterior estas eram de 26,4%. A análise da figura anterior permite, ainda, concluir que o volume de ANF registou, entre o 1º semestre de 2007 e o 1º semestre de 2013, uma notável redução de 61,7%.

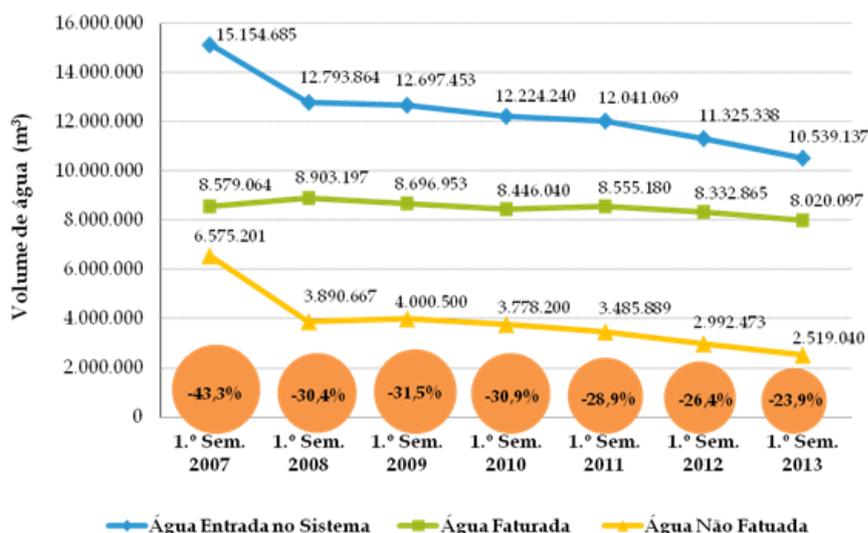


Fig.2. 10 – Evolução da ANF – 1º semestre 2007-2013 (Águas do Porto, EM, 2013c)

2.7. PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

As perdas de água em SAA são divididas em dois tipos: perdas reais e perdas aparentes. As perdas reais correspondem ao volume de água que é perdida até ao contador do cliente, quando o sistema está

pressurizado. Já as perdas aparentes contabilizam todos os tipos de imprecisões associadas às medições da água produzida e consumida e, ainda, o consumo não-autorizado, que é respeitante aos furtos e usos ilícitos (Alegre, H., *et al.*, 2005).

De acordo com Farley, M. (2003) a primeira fase do desenvolvimento de uma estratégia de redução das perdas de água consiste na obtenção de respostas às seguintes perguntas:

- Qual o volume de água perdida no sistema?
- Onde é que a água está a ser perdida?
- Porque é que se perde?
- Que ações podem ser introduzidas para reduzir as perdas de água e melhorar o desempenho do sistema?
- Como manter o controlo das perdas de água e preservar os resultados anteriormente atingidos?

É fundamental para as EG a obtenção destas respostas, com vista à adaptação das técnicas e procedimentos disponíveis, que serão posteriormente aplicados às características da rede de abastecimento.

2.8. CONCEITO DE PERDAS REAIS

As perdas reais são relativas às perdas de água resultantes de fissuras, roturas ou extravasamentos, que surgem desde a captação, por parte do sistema em alta, até aos contadores dos consumidores ou pontos de consumo. Estas ocorrem porque a rede de distribuição de água de um sistema de abastecimento não é totalmente estanque.

O volume de água perdida é dependente, de acordo com Farley, M. (2001), das características e do estado de degradação da rede de distribuição, da operacionalidade e rapidez das reparações, da utilização de conhecimentos e tecnologias especializadas para as reparações e controlo do sistema e das características urbanísticas e topográficas. Segundo o mesmo autor, o volume de água perdida não é constante e constitui um importante indicador de desempenho dos SAA. Tal deve-se ao facto de, em termos económicos, as perdas de água constituírem uma redução dos lucros e um aumento das tarifas por parte da EG e, em termos ambientais, originarem desperdícios de um recurso que é atualmente escasso.

De acordo com a Figura 2.11 é importante que as EG deste setor implementem medidas de gestão e operacionalização, que permitam a diminuição da ANF ao longo do tempo, o que em parte corresponde ao volume de água que é desperdiçado no sistema de abastecimento e que é contabilizado como perdas de água reais e aparentes. Assim, consegue-se uma redução do volume da AES, já que a diminuição das perdas minimiza a necessidade de compra de água por parte da EG em baixa à empresa em alta e, do mesmo modo, o volume de AF aumenta.

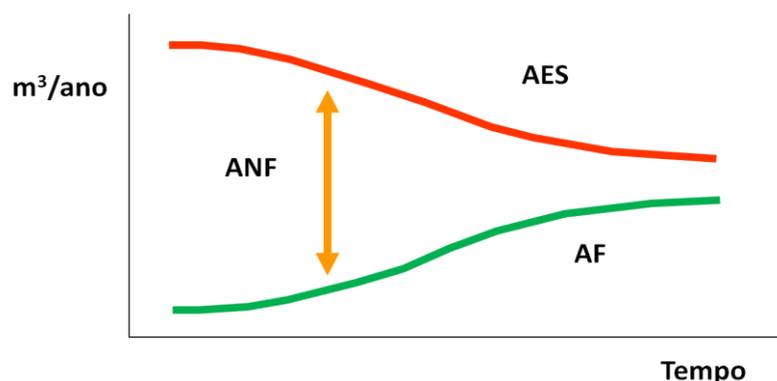


Fig.2. 11 – Relação entre AES e a AF para a diminuição da ANF ao longo do tempo (Martins, J.P., 2012)

Em Portugal as perdas de água atingem, em média, os 40%, as quais correspondem a, aproximadamente, 240 milhões de m³/ano. Isto resulta num prejuízo em termos de água perdida de cerca de 70 milhões de € e numa estimativa do prejuízo total de 370 milhões de €. Contudo, existem sistemas onde este valor excede os 80%, o que revela uma elevada ineficiência por parte da EG (Alegre, H., *et al.*, 2005).

Deste modo, a redução das perdas de água dever constituir um objetivo prioritário. Verifica-se também que as empresas deste setor quando geridas por câmaras municipais são menos eficientes, já que a percentagem de perdas é maior. É o modelo de gestão por concessão/empresas mistas que apresenta uma maior eficiência e que deve ser atualmente aplicado.

2.8.1. QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS REAIS

O balanço hídrico quantifica a totalidade das perdas de água na rede de abastecimento, aparentes e reais, através da comparação entre o volume de água que é comprado pelo sistema em baixa ao sistema em alta e o volume de água adquirido para consumo autorizado. Este último é dividido em vários componentes, que são individualmente medidos ou estimados.

A *International Water Association* (IWA) desenvolveu uma metodologia para o cálculo do balanço hídrico, definindo claramente os seus componentes de cálculo. Este método é comum para todas as EG e obteve uma ampla aceitação a nível internacional, já que permite a comparação do desempenho das várias empresas do setor da água, bem como a implementação de importantes medidas relacionadas com a gestão e operação dos SAA. Porém, o balanço hídrico acumula erros e incertezas, essencialmente quando os dados são obtidos a partir de estimativas. É de referir que este poderá ser elaborado para todo o sistema ou para os subsistemas em que este possa estar dividido (Farley, M., 2001).

Os componentes que são objeto do método de cálculo do balanço hídrico adotado pela IWA estão representados no Quadro 2.1.

Quadro 2. 1 – Método de cálculo do Balanço Hídrico proposto pela IWA (Adaptado de Farley, M., *et al.*, 2008)

Água entrada no sistema (m ³ /ano)	Consumo autorizado (m ³ /ano)	Consumo autorizado faturado (m ³ /ano)	Consumo faturado medido (m ³ /ano)	Água faturada (m ³ /ano)
		Consumo autorizado não faturado (m ³ /ano)	Consumo não faturado medido (m ³ /ano)	Água não faturada (perdas comerciais) (m ³ /ano)
Perdas aparentes (m ³ /ano)	Consumo não faturado não medido (m ³ /ano)			
	Consumo não autorizado (m ³ /ano)			
Perdas reais (m ³ /ano)	Perdas de água por erros de medição (m ³ /ano)			
	Fugas nas condutas de adução e/ou distribuição (m ³ /ano)			
	Fugas e extravasamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição (m ³ /ano)			
	Fugas nos ramais (a montante do ponto de medição) (m ³ /ano)			

2.8.2. CLASSIFICAÇÃO DAS PERDAS REAIS

De acordo com Farley, M., *et al.* (2008) as perdas reais num SAA podem ser classificadas segundo quatro tipos:

- Perdas por roturas na rede de distribuição – Este tipo de perdas está geralmente associado a eventos de grandes dimensões, capazes de causar danos nas infraestruturas e, por conseguinte, originar interrupções no sistema de abastecimento. As perdas por roturas na rede de distribuição são facilmente visíveis, já que se caracterizam por um elevado caudal e um rápido aparecimento à superfície, o que diminui a durabilidade da rotura e o volume de água perdida. As perdas na rede de distribuição são calculadas, geralmente, para um período de tempo de um ano, de acordo com a expressão 2.1. De modo a obter-se o número de roturas anual é imprescindível que as EG possuam um registo de todas as ocorrências.

$$V = N^{\circ} \text{ ROTURAS} \times Q_{\text{MÉDIO}} \times T_{\text{MÉDIO}} \quad (2.1)$$

Em que:

V = Volume total de água perdida (m³);

Q_{médio} = Caudal médio de água perdida por rotura (m³/s);

t_{médio} = Tempo médio de duração de cada rotura (s).

- Perdas por fugas e extravasamentos em reservatórios – As perdas associadas aos reservatórios são facilmente quantificadas através da estimativa da sua duração média e do caudal de água perdida em cada ocorrência. Os extravasamentos dão-se essencialmente à noite, porque o consumo de água por parte dos clientes é menor e a pressão na rede é superior. Deste modo, é essencial a instalação de um *data logger* para a

recolha de dados relativos aos níveis do reservatório. Um *data logger* é um equipamento eletrónico que se liga aos equipamentos de medição e recolhe a informação (pressão, temperatura, caudal, entre outros) determinada por estes, segundo regimes de leitura geralmente programáveis. Para o combate às fugas resultantes da fissuração devem ser realizadas inspeções periódicas por parte da EG.

- Perdas por fugas identificáveis por equipamentos de deteção de fugas – Estas perdas não se manifestam à superfície, devido às características do solo, à topografia do terreno e à presença nas imediações de outras redes, como as de águas residuais ou pluviais. O volume de água perdida e a duração da fuga é dependente da estratégia adotada para o CAP. O volume de água perdida é quantificado através da subtração do volume de água perdida em fugas e roturas de grandes dimensões e do volume de água resultante dos extravasamentos em reservatórios ao volume de água correspondente à totalidade das perdas reais.
- Perdas decorrentes de pequenas fugas – Estão geralmente associadas a acessórios, tais como juntas de ligação, e são indetetáveis para a grande parte dos equipamentos utilizados. Como não afloram à superfície, devido ao seu pequeno caudal, originam um elevado tempo de duração da fuga, e um excedente volume de água perdida. São geralmente desprezadas, pois são dificilmente detetadas e a sua reparação individual não traz benefícios económicos, constituindo as designadas perdas inevitáveis.

Na Figura 2.12 é possível visualizar uma pequena fuga numa junta de ligação e uma grande rotura numa conduta da rede de distribuição.



Fig.2. 12 – Exemplos de dois tipos de perdas de água reais (Lima, D., 2011)

Verifica-se então que, o primeiro e o segundo tipo de perdas são, usualmente, bastante visíveis pela população e pelos operários pertencentes à EG, já que são facilmente detetadas e, assim, rapidamente reparadas. Já as perdas por fugas identificáveis por equipamentos de deteção de fugas são mais difíceis de detetar, já que não são visíveis à superfície. Deste modo, originam maiores volumes de água perdida.

De acordo com a Figura 2.13 é possível verificar que o volume de água perdida aumenta com o aumento do tempo de perceção, localização e reparação e que são as perdas de água que correspondem a caudais mais elevados as que, por serem mais facilmente detetadas, originam um menor volume de água perdida.

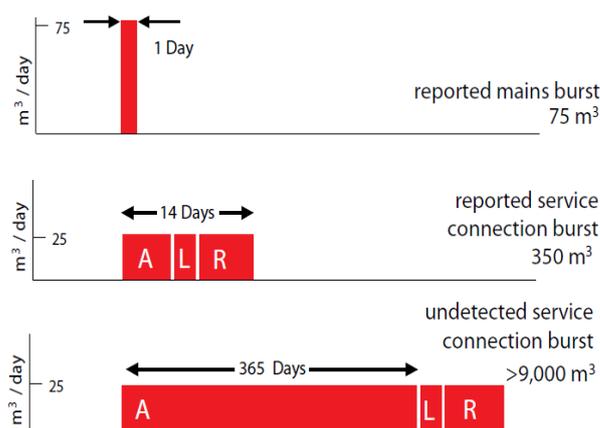


Fig.2. 13 – Relação entre o volume de água perdida e a duração da fuga. Legenda: A – Awareness (Perceção); L – Location (Localização); R – Repair (Reparação) (Farley,M., *et al.*, 2008)

2.8.3. CONTROLO DAS PERDAS REAIS

A estratégia de gestão das perdas reais assenta em quatro ações: a gestão da pressão na rede, a qualidade e rapidez das reparações de fugas e roturas, o CAP e, por último, a reabilitação e substituição de infraestruturas.

No que respeita às perdas em condutas e em ramais domiciliários a estratégia de gestão das perdas reais deve iniciar-se com a gestão da pressão na rede, já que a sua redução permite diminuir a ocorrência de fugas e roturas e também a minimizar o volume de água que é perdida por estas. Como última medida surge a substituição e reabilitação das condutas, já que envolve a realização de grandes obras de reestruturação da rede e, em contrapartida, um maior investimento por parte da EG. Tal é demonstrado no Quadro 2.2, apresentado de seguida.

Quadro 2. 2 – Medidas a implementar de acordo com a localização das perdas de água reais (Martins, J.P., 2012)

	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4
Perdas em condutas	Gestão da pressão	Rapidez e eficácia das reparações de fugas/roturas	CAP	Substituição/reabilitação das condutas
Perdas em ramais domiciliários	Gestão da pressão	Rapidez e eficácia das reparações de fugas/roturas	CAP	Substituição/reabilitação das condutas
Perdas em reservatórios	Detetar e prevenir extravasamentos	Reparar/reabilitar o reservatório	-	-

2.8.3.1. Gestão da Pressão

A gestão da pressão é uma das medidas fundamentais atribuídas à estratégia de gestão das perdas reais num SAA, dado que a frequência com que as fugas e roturas ocorrem é função da pressão e das suas variações cíclicas. Igualmente, o volume de água perdida aumenta com o aumento da pressão. Embora a relação entre a pressão e o caudal seja complexa admite-se que esta é praticamente linear, já que

numa primeira fase de atuação uma redução de 10% na pressão implica uma diminuição de 10% no caudal de água perdida (Farley, M., *et al.*, 2008).

A redução da pressão pode ser conseguida com a implementação de tanques de redução da pressão. Porém, a opção mais comum e a que garante uma maior rentabilidade é a instalação de VRP. Estes acessórios são instalados em pontos estratégicos da rede de abastecimento, com vista à redução ou conservação da pressão num determinado nível (Farley, M., *et al.*, 2008). Este controlo torna-se crucial essencialmente no período noturno, já que é neste intervalo de tempo que o consumo por parte dos utilizadores é mais baixo, aumentando a pressão na rede.

Numa estratégia de redução da pressão devem ser realizadas, inicialmente, um conjunto de tarefas que permitam a análise do sistema ou subsistema de abastecimento, de modo a identificar as zonas onde deverá ser reduzida a pressão, definir as VRP e os dispositivos de controlo a utilizar, bem como o seu modo de funcionamento (Farley, M., *et al.*, 2008). De seguida, deverão ser verificadas as implicações da sua aplicação, nomeadamente através da identificação do ponto crítico, o qual corresponde ao local da área em estudo onde é verificado o menor valor de pressão. Para tal, é preciso ter em conta o exposto no Artigo 21º do Decreto Regulamentar nº23/95 de 23 de agosto que refere que a pressão de serviço, em qualquer dispositivo de uso predial para o caudal de ponta, não deve ser, em regra, inferior a 100 kPa. Na rede pública e ao nível do arruamento a pressão mínima é calculada pela expressão 2.2:

$$H = 10 + 4 \times n^{\circ} \text{ pisos} \quad (2.2)$$

Em que:

H = Pressão mínima necessária (m.c.a.);

nº pisos = Número de pisos acima do solo (incluindo o piso térreo).

As EG devem garantir uma pressão não inferior a 20 m.c.a. na rede pública e ao nível do arruamento, já que este valor é o indicado para satisfazer os requisitos mínimos de bem-estar. Por exemplo, um esquentador tradicional não arranca com valores de pressão inferior a este.

Segundo o mesmo Artigo, não é aceitável uma grande flutuação de pressão em cada nó do sistema, impondo-se uma variação máxima, ao longo do dia, de 30 m.c.a. Este refere também que a pressão máxima, estática ou de serviço, em qualquer ponto de utilização não deverá ultrapassar os 60 m.c.a., medida ao nível do solo. Visto isto, é crucial reduzir a pressão nos locais da rede de abastecimento em que este valor regulamentar é ultrapassado, obtendo-se benefícios económicos e operacionais. Contudo, é importante garantir o abastecimento contínuo de água às populações com pressão suficiente. Isto mantém os utilizadores satisfeitos e são evitadas reclamações à EG.

2.8.3.2. Qualidade e Rapidez das Reparações de Fugas e Roturas

A duração das fugas e roturas está inteiramente relacionada com o volume de água que é perdida através destas. Deste modo, quanto mais rapidamente se atuar na sua reparação uma menor quantidade de água será desperdiçada. A qualidade das reparações é também importante, já que quando estas não são perfeitamente realizadas existe uma forte probabilidade de ocorrer uma nova rotura. Para o cumprimento desta medida está inerente uma organização eficiente, a utilização de equipamentos e materiais adequados, a execução dos procedimentos apropriados e um financiamento suficiente por parte da EG. (Farley, M., *et al.*, 2008).

2.8.3.3. Controlo Ativo de Perdas (CAP)

O CAP é uma medida essencial para a rentabilidade e eficiência da gestão das perdas reais, já que uma manutenção preventiva em vez de reativa contribui para a sua considerável diminuição e, consequentemente, para o aumento do desempenho de um SAA. Além disso, existem fugas que não se manifestam à superfície e, que desta forma, são detetadas com recurso a técnicas acústicas de pesquisa. Por outro lado, o CAP implica um elevado investimento inicial em equipamentos e formação dos operadores.

Quando existe uma fuga ou rotura numa conduta que opera com líquidos sob pressão, como é o caso das redes de distribuição de água, um som contínuo é emitido pela fenda existente. A água proveniente é o elemento que gera esse mesmo som. Este propaga-se através da água e das paredes da conduta, segundo ondas longitudinais e transversais (Zaniboni, N., 2009).

A velocidade de propagação do som é dependente do tipo de material constituinte da conduta e a intensidade do som é mais elevada com a aproximação ao local exato onde se encontra a fuga ou rotura.

Um conjunto de equipamentos é utilizado no CAP, tendo por base a deteção acústica do ruído provocado pela fuga ou rotura. Estes são descritos de seguida, de acordo com Farley, M., *et al.* (2008).

- Sondagem acústica tradicional – Esta técnica consiste na utilização de uma haste de metal, que é colocada em vários pontos onde é possível o contacto direto com a conduta ou indiretamente, sob a mesma, em passeios ou ruas. O ruído característico produzido durante a fuga é detetado encostando o ouvido à haste.
- Haste de escuta mecânica – A haste mecânica possui um amplificador mecânico de membrana vibratória, o qual permite a amplificação do som captado e a sua melhor perceção.
- Geofone eletrónico – Este equipamento é constituído por um sensor de captação, que amplifica o som produzido durante a fuga, um auscultador e um dispositivo para armazenamento de dados, o qual permite a sua reprodução e análise posterior. Tal como os equipamentos anteriores, o geofone eletrónico tem como objetivo a procura do ponto de maior intensidade sonora.
- *Loggers* acústicos – Os *loggers* acústicos baseiam-se no nível de ruído produzido durante a fuga. Estes limitam áreas de uma ZMC que são suspeitas de possuírem fugas, sendo cada um destes localizado, por exemplo, num hidrante ou num medidor. Assim, os ruídos suspeitos de serem causados por fugas ou roturas podem ser confirmados e, posteriormente, são localizados através dos *loggers* de correlação acústica.
- *Loggers* de correlação acústica – Estes equipamentos baseiam-se na velocidade do som produzido durante a fuga, que percorre a conduta em direção a dois microfones situados em pontos estratégicos, determinados pelos *loggers* de ruído. Esta técnica permite a possibilidade de introdução e comunicação de dados via rádio ou por cabos entre os *loggers* e um sistema de aquisição de dados, para posterior análise dos ruídos gravados e dos seus espetros de frequência. Estes equipamentos são portáteis e programáveis, podendo a aquisição de dados ocorrer em períodos de tempo específicos e durante vários dias.

2.8.3.4. Reabilitação e Substituição de Infraestruturas

As condutas, tais como os restantes constituintes de uma rede de abastecimento de água, degradam-se, envelhecendo ao longo do tempo. Portanto, verifica-se um aumento das fugas e roturas pela

danificação dos materiais constituintes, o que origina um aumento das perdas reais. É então necessária a reabilitação e substituição de infraestruturas. Contudo, no desenvolvimento de uma estratégia de combate às perdas de água reais esta corresponde à última medida que deverá ser realizada. Tal deve-se ao facto de englobar maiores investimentos e originar grandes perturbações no sistema, devido à possibilidade de ser necessário interromper o abastecimento e afetar a mobilidade na zona, já que na maior parte das situações é necessária a interrupção ao trânsito. Há então a necessidade de se efetuar, *a priori*, uma análise da sua viabilidade económica.

É importante a existência de um cadastro atualizado da rede de abastecimento de água e de um arquivo com informações importantes, tais como o tipo de material em que as condutas são construídas e a caracterização das fugas e roturas ocorridas.

Quando já aplicadas as restantes medidas e mantida uma elevada percentagem de perdas reais (superior a 20% da AES), a reabilitação e substituição de infraestruturas é essencial para a sua redução.

2.8.3.5. Zona de Medição e Controlo (ZMC)

A generalidade das redes existentes são complexas e pouco estruturadas e, deste modo, o controlo e redução da pressão em áreas extensas é pouco eficaz. Para o controlo das perdas, com o conhecimento aprofundado de uma determinada área são obtidos melhores resultados e as ações para o seu combate são mais eficazes. De acordo com Farley, M. (2001) é importante setorizar a rede de abastecimento de água em ZMC, perfeitamente delimitadas, através do uso de válvulas de seccionamento, e permanentemente isoladas, sem que haja prejuízo no abastecimento às populações. A medição zonada é uma técnica de controlo de caudais e de apoio ao controlo de perdas, já que permite a obtenção de informação detalhada sobre o balanço de caudais, o comportamento dos consumos e a variação na pressão. Tal consegue-se através da definição de pontos de medição e controlo, com a inserção de caudalímetros e manómetros, emparelhados com *data loggers*, que fazem o registo dos valores, tal como se constata na Figura 2.14 (Alegre, H., *et al.*, 2005).

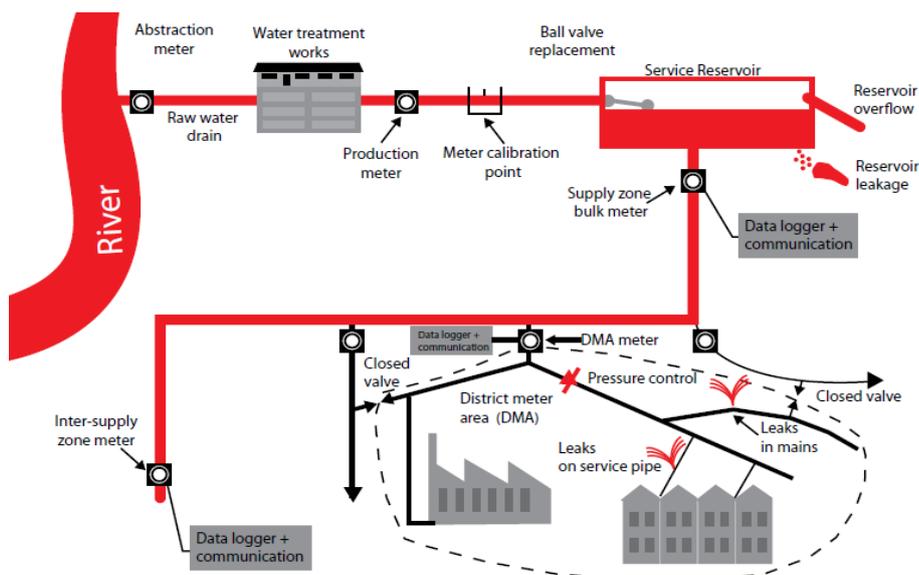


Fig.2. 14 – Pontos de medição e controlo num SAA (Farley, M., *et al.*, 2008)

A existência de ZMC é importante para o CAP e para a gestão da pressão na rede. É importante referir que a introdução de uma VRP no sistema de distribuição implica a definição de uma subzona de medição e controlo, para uma melhor inspeção do funcionamento do sistema e pela obrigatoriedade de garantia de um escoamento unidirecional. Na Figura 2.15 está representado um SAA setorizado, estando a ZMC 2 subdividida em duas subZMC. Verifica-se que a rede de abastecimento está compartimentada pelo fecho de todas as válvulas de seccionamento, que se encontram no perímetro que define a ZMC. Porém, duas válvulas não poderão ser fechadas, pois uma assegura o abastecimento da zona e a outra permite o abastecimento contínuo das zonas vizinhas.

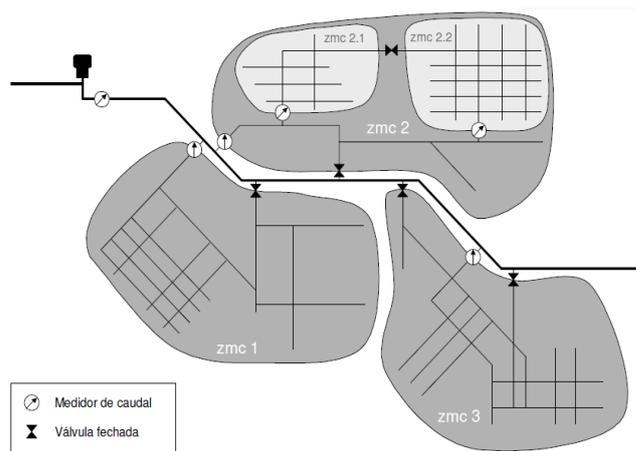


Fig.2. 15 – Setorização de uma rede de abastecimento de água (Alegre, H., *et al.*, 2005)

Os caudalímetros existentes na ZMC permitem a quantificação dos volumes de água que entram e saem desta. Assim, o volume de água perdida é dado pela diferença entre o volume medido pelo caudalímetro e os consumos autorizado faturado e autorizado não faturado. Este método permite averiguar se uma ZMC necessita de CAP. Também permite identificar variações súbitas no volume de água a entrar na zona, o que revela a existência de anomalias.

2.9. REDUÇÃO DA PRESSÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O dimensionamento tradicional de redes de distribuição de água pressupõe a garantia de um nível de pressão mínima, para a situação mais desfavorável de consumos e nos pontos mais críticos do sistema, o que faz com que o estabelecimento dos níveis de pressão se baseie em cenários de ponta no consumo. Tal resulta em valores de pressão superiores aos imprescindíveis durante extensos períodos de tempo em que o consumo é inferior, caso não seja adotado um procedimento de gestão ativa de pressão (Alegre, H., *et al.*, 2005).

O período noturno corresponde ao período de mais baixo consumo, o que faz com que os níveis de pressão na rede aumentem, sendo possível e conveniente reduzi-los ainda mais do que durante o período diurno. Porém, nem todos os sistemas apresentam margem para a redução da pressão, já que mesmo em certos casos os níveis atuais de pressão são insuficientes (Alegre, H., *et al.*, 2005). É ainda importante referir que o consumo noturno corresponde essencialmente a perdas de água em condutas, já que o consumo por parte da população é praticamente nulo. Estas constatações são verificadas no gráfico da Figura 2.16.

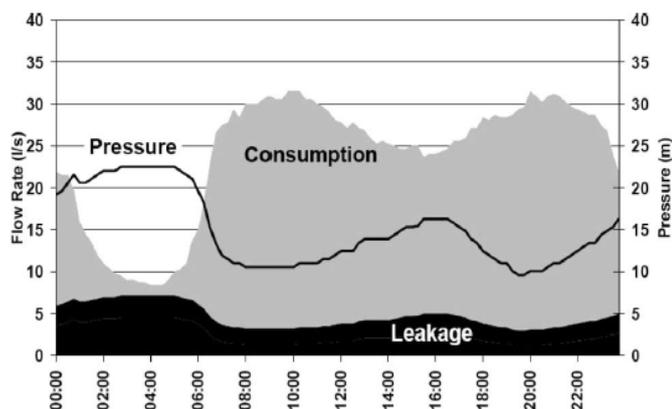


Fig.2. 16 – Representação gráfica típica da relação entre o consumo, a pressão e as perdas num SAA (Puust, R., et al., 2010)

2.9.1. INFLUÊNCIA DA PRESSÃO NA OCORRÊNCIA DE ROTURAS

Mudanças súbitas e com elevada frequência nos valores de pressão reduzem o tempo de vida útil das condutas e dos seus órgãos acessórios. Isto pode ser demonstrado através do cálculo da frequência com que ocorrem novas roturas e, posteriormente, pela comparação com outros sistemas. Para situações extremas, em que o abastecimento é intermitente, a probabilidade de existência de novas roturas pode ser superior a 10 vezes do que seria esperado caso o abastecimento fosse contínuo (Lambert, A., 2001).

É ainda importante salientar que, um conjunto de dados oriundos de um SAA de Wales, no Reino Unido, mostra que para um abastecimento de água contínuo a frequência de ocorrência de roturas na rede aumenta rapidamente quando a pressão excede os 35/40 m.c.a. (Lambert, A., 2001).

O mesmo autor faz ainda algumas considerações sobre alguns casos reais:

- Na Austrália reduziu-se a pressão em 40% e, assim, conseguiu-se uma redução de 55% na frequência da ocorrência de novas roturas, quer seja nas condutas, órgãos acessórios ou ligações.
- Em Auckland, na Nova Zelândia, quando no SAA de Ecowater's foi reduzida a pressão média de 71 m.c.a. para 54 m.c.a. foi necessário um período de tempo de oito anos para ser possível atingir o valor mais baixo da frequência de ocorrência de roturas na rede.
- No Brasil em oito setores com 140 km de condutas sujeitas à estratégia de redução da pressão a frequência da ocorrência de roturas foi reduzida de 155 para 95 roturas/mês.

A Figura 2.17 ilustra um conjunto de resultados, relativos à frequência de roturas, obtidos a partir de um projeto da *American Water Works Research Foundation* (Deb, A., et al., 2000; Alegre, H., et al., 1998). Estes valores são comparados com os resultados de um inquérito realizado em Portugal (Figueiredo, S., 2000). É possível constatar que para os casos de estudo portugueses a taxa de roturas apresenta valores excessivamente superiores à média europeia ou norte-americana. Nas redes mais jovens, seria de esperar que para o caso português as taxas de roturas fossem significativamente inferiores à média europeia e norte-americana (Alegre, H., et al., 2005).

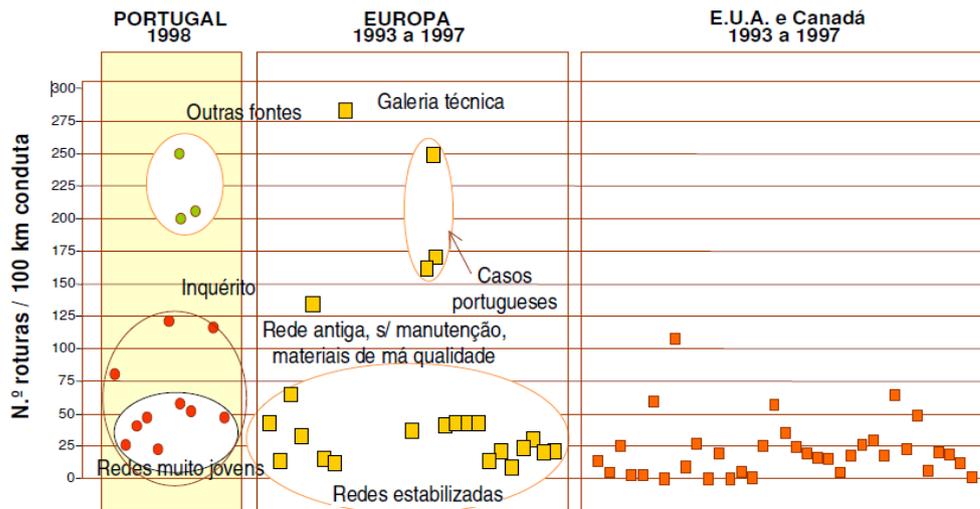


Fig.2. 17 – Roturas em Portugal, na Europa e na América do Norte (Alegre, H., *et al.*, 2005)

A redução da pressão em SAA constitui a principal medida para a diminuição das fugas e roturas, sendo que a lei de vazão de um orifício para fluidos sob pressão está descrita na expressão 2.3 (Lambert, A., 2001):

$$Q_{\text{orifício}} = C_d \times A \times (2gP)^{0,5} \quad (2.3)$$

Em que:

$Q_{\text{orifício}}$ = Caudal libertado pelo orifício (m^3/s);

C_d = Coeficiente de vazão;

A = Área da secção do orifício (m^2);

P = Pressão a que o fluido está submetido (m.c.a.);

g = Aceleração gravítica ($9,8 \text{ m/s}^2$).

Esta expressão não é a mais correta, dado que o C_d não é constante pois depende no Número de Reynolds (Re). Além disso, o expoente da lei de vazão não tem de ser necessariamente igual a 0,5.

Assim, segundo Lambert, A. (2001) o efeito da redução da pressão nas perdas reais deverá ser expresso de acordo com a expressão 2.4:

$$Q_{\text{final}} = Q_{\text{inicial}} \times \left(\frac{P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}} \right)^n \quad (2.4)$$

Em que:

Q_{final} = Caudal de perdas após redução da pressão (m^3/s);

Q_{inicial} = Caudal de perdas antes da redução da pressão (m^3/s);

P_{final} = Pressão final após redução da pressão (m.c.a.);

P_{inicial} = Pressão inicial anterior à redução da pressão (m.c.a.);

n = Expoente.

O expoente pode ser determinado experimentalmente em laboratório ou em setores das redes de distribuição. Este varia com o material das condutas, a natureza das fugas ocorrentes e o tipo de fuga predominante (Lambert, A., 2001). Os valores recomendados para o expoente n são referidos no Quadro 2.3.

Quadro 2. 3 – Valores recomendados para o expoente n (Adaptado de Lambert, A., 2001)

n	Aplicação
0,5	Fugas significativas, detetáveis em condutas de materiais metálicos (fugas em orifícios de área fixa)
1,0	Em caso de desconhecimento do material ou do nível de perdas reais
1,5	Pequenas fugas, indetetáveis. São muito sensíveis à variação da pressão, independentemente do tipo de material
> 1,5	Fugas significativas, detetáveis, em condutas de materiais plásticos (fugas em orifícios de área variável)

O conhecimento desta relação permite o estabelecimento de estimativas entre uma situação atual e uma situação posterior a uma ação de redução da pressão na rede de abastecimento de água. Assim, é possível elaborar um estudo de viabilidade para a implementação de uma VRP.

A ERSAR define um conjunto de indicadores que são objeto de avaliação da eficiência das EG. Deste modo, existe um indicador relativo à ocorrência de avarias em condutas (AA11ab). O cálculo deste indicador é feito a partir do registo das ordens de trabalho, de acordo com a seguinte expressão matemática 2.5 (ERSAR, 2012):

$$AA11ab = dAA13ab / dAA30ab \times 100 \quad (2.5)$$

Em que:

AA11ab = Número de avarias em condutas (n°/(100 km.ano))

dAA13ab = Avarias em condutas (n°/ano);

dAA30ab = Comprimento total de condutas (km).

No Quadro 2.4 estão representados os valores de referência deste indicador. É importante referir que neste não são incluídas as avarias em condutas provocadas por terceiros e cuja reparação lhes foi cobrada (ERSAR, 2012).

Quadro 2. 4 – Valores de referência do indicador AA11ab para os sistemas em alta e em baixa (ERSAR, 2012)

Qualidade do Serviço	Alta	Baixa
Boa	[0; 15]	[0; 30]
Mediana]15; 30]]30; 60]
Insatisfatória]30; +∞[]60; +∞[

2.9.2. CONCEITO DE VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO

Uma VRP é um acessório hidráulico que permite a obtenção de uma pressão pré-definida no setor a jusante da sua instalação. O seu funcionamento prevê a fixação de uma pressão máxima a jusante, que é função de uma perda de carga induzida ao escoamento pela válvula, mediante a ordem de abertura ou de fecho desta. Quando a pressão a jusante é demasiadamente elevada o dispositivo de obturação da válvula é acionado, aumentando a perda de carga localizada no sistema e reduzindo o valor da pressão a jusante até ao valor pretendido. Ao invés, se a pressão a jusante estiver abaixo de um determinado valor a válvula abre.

Segundo o Decreto Regulamentar nº23/95 de 23 de agosto, uma VRP deve ser instalada numa câmara de manobra que garanta a proteção adequada dos acessórios do sistema e o fácil acesso, para observação e operações de leitura ou de manobra, sob condições de segurança. Este tipo de válvulas tem sempre associado um filtro a montante, para a retenção de areias, um manómetro a jusante, ou outro dispositivo que permita o controlo das pressões e que seja de fácil adaptação.

O mesmo Decreto refere que uma VRP deve ser dotada de válvulas de seccionamento, a montante e a jusante, e de um *bypass* com seccionamento eventualmente amovível, cuja eficiência deve ser continuamente assegurada. Este tem como objetivo manter o abastecimento de água quando a válvula necessita de manutenção ou sofre avaria. O *bypass* poderá ainda ser dispensado no caso de VRP instaladas em paralelo.

O funcionamento da válvula pode ser controlado a partir da sede da EG através de um sistema de telegestão, com a integração de um *data logger*. A telegestão confere uma maior segurança na exploração da rede, já que o operador é avisado da ocorrência de possíveis anomalias, é fornecido um conhecimento em tempo real do funcionamento das instalações, permite o comando à distância, o armazenamento de dados e a gestão da energia elétrica nas instalações.

Na Figura 2.18 está representada a instalação de uma VRP, com modulação simples, numa câmara de manobra, sem *bypass*. Na instalação desta válvula foi usada uma junta de desmontagem, em substituição da junta flangeada, já que esta permite uma maior facilidade na sua remoção da caixa de manobra em situações de manutenção.



Válvula de seccionamento Junta de desmontagem VRP Filtro Junta de ligação

Fig.2. 18 – Instalação da VRP do Falcão em câmara de manobra (SAA da cidade do Porto)

2.9.2.1. Funcionamento

Existem vários tipos de válvulas no mercado mediante a sua ação, formato do corpo e tipo de sistema de acionamento. No que respeita ao formato do corpo existem vários tipos no mercado: válvula de globo, borboleta, diafragma, agulha, cunha, entre outros. Porém, as válvulas do tipo globo são as normalmente aplicadas na redução da pressão em SAA (Bairos, A., 2008). Na Figura 2.19 está representada uma VRP de globo instalada no SAA da cidade do Porto, onde é visível um *data logger* para medição e registo dos valores de pressão medidos pelo manómetro.



Fig.2. 19 – VRP do Dragão, pertencente ao SAA da cidade do Porto, instalada em câmara de manobra

Uma válvula é constituída essencialmente pelos seguintes componentes: corpo, diafragma ou membrana, haste, sede, obturador e mola.

O corpo da válvula corresponde ao invólucro exterior que contém todos os componentes internos que entram em contato com a água. Já a tampa está ligada ao corpo e tem como função orientar e vedar a haste, já que existe o movimento desta ao longo da tampa, no sentido ascendente e descendente.

A haste faz movimentar o obturador e a sede, transmitindo a força de atuação, induzida pelo sistema de acionamento, à válvula. Esta deverá ser resistente a uma elevada força de compressão, durante o fecho da válvula, e de tração, durante a sua abertura.

O obturador corresponde ao membro de fecho da válvula e está ligado à haste. Este é deslocado para cima ou para baixo, induzindo uma maior ou menor perda de carga ao escoamento. Assim, é diminuída ou aumentada a pressão a jusante da VRP. A sede fornece estabilidade ao processo de fechamento da válvula pelo obturador.

A mola movimenta-se em função da força fornecida à haste pelo sistema de acionamento e, do mesmo modo, faz movimentar verticalmente o diafragma, também designado por membrana. É o diafragma que separa a câmara da válvula principal da câmara de pressurização. Existem VRP com dois diafragmas para o caso de um rebentar, o que é frequente em situações de elevados caudais de água. Todos estes componentes estão representados na Figura 2.20.

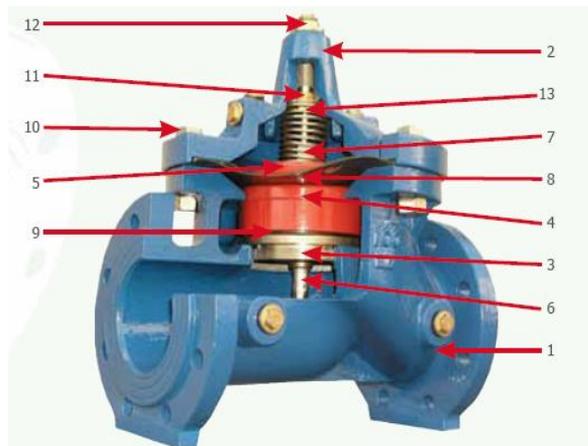


Fig.2. 20 – Representação dos componentes de uma válvula de globo. Legenda: 1 – corpo; 2 – tampa; 3 – sede; 4 – caixa do obturador; 5 – batente do diafragma; 6 – haste; 7 – porca de fixação; 8 – diafragma; 9 – obturador; 10 – parafusos e porcas; 11 – guia superior e haste; 12 – purga de ar; 13 – mola (Tecnilab Portugal, S.A., 2013a)

Nas VRP a operar em SAA são utilizados dois tipos de sistemas de acionamento, a saber: sistema de acionamento pneumático e sistema de acionamento hidráulico. No sistema de acionamento pneumático a válvula utiliza ar comprimido como forma de transmissão da potência necessária para movimentar o obturador. Estes sistemas dependem da pressurização para serem atuados e os compressores necessitam de alimentação elétrica para funcionarem. Na Figura 2.21 está representada uma VRP do SAA da cidade do Porto operada por sistema pneumático. Nesta válvula é medida a pressão a montante e a jusante com a utilização de dois manómetros. Os valores medidos são transformados num sinal elétrico, através de um transdutor de pressão, e são encaminhados para o controlador, mediante um transdutor de sinais. Em função dos valores medidos, o controlador admite

uma determinada quantidade de ar comprimido de modo a realizar a redução de pressão necessária. O ar comprimido é enviado em direção ao disco e ao diafragma empurrando o obturador, sendo induzida uma perda de carga ao escoamento.



Fig.2. 21 – VRP da Rotunda AEP, instalada no SAA do Porto, com sistema de acionamento pneumático e controlador

Já no sistema de acionamento hidráulico existe o aproveitamento da pressão a montante da VRP para o movimento do obturador, sendo esta a sua principal vantagem, conferindo-lhe uma maior autonomia. Além disso, a válvula funciona em autogestão sem depender de elementos exteriores. Isto porque, possui um sistema piloto que, através de um balanço de pressões neste, faz movimentar o obturador. O sistema hidráulico é mais simples do que o sistema pneumático, permite fáceis reajustes, exige uma menor manutenção, requer equipamentos mais baratos e necessita de um menor consumo energético. O consumo energético é nulo em válvulas puramente hidráulicas (sem controlador).

Neste tipo de acionamento as válvulas detêm um sistema piloto que determina a pressão a montante, através da maior ou menor compressão de uma mola. A mola é regulada através de um parafuso, pelo operador, definindo um patamar de pressão a jusante. Contudo, já existem no mercado válvulas com dois pilotos, operando com dois patamares de pressão, um referente às horas de maior consumo e outro para as horas de menor consumo. Na Figura 2.22 é possível visualizar um exemplar de um piloto de uma VRP.



Fig.2. 22 – Exemplo de um piloto utilizado em VRP (BERMAD Water Control Solutions, 2013a)

A água que abastece a rede e circula na conduta dá entrada na câmara da válvula e, de seguida, faz empurrar a água existente no circuito de pressurização do piloto. Esta pressiona a mola do piloto, com maior ou menor força, em função da sua pressão, sendo assim determinada a pressão de montante.

Na câmara de pressurização existe água com uma determinada pressão, conhecida pelo sistema piloto. O piloto pressuriza a água presente na câmara de pressurização quando a pressão de montante é superior a esta, fazendo descer a haste, o diafragma e o obturador. Consegue-se assim induzir uma perda de carga ao escoamento e reduzir a pressão de montante. Pelo contrário, o piloto despressuriza a câmara de pressurização quando a pressão de montante é inferior à pressão da água existente nesta. Tal consegue-se com a remoção de água da câmara de pressurização pelo circuito de despressurização, sendo esta encaminhada para a rede de distribuição a jusante da válvula. Nesta situação, a haste, o diafragma e o obturador realizam um movimento ascendente, diminuindo a perda de carga induzida ao escoamento e aumentando a pressão de jusante. É no circuito de despressurização que, com um manómetro, é determinada a pressão de jusante, como forma de confirmação do bom funcionamento da VRP.

O funcionamento da VRP por acionamento hidráulico está representado na Figura 2.23.

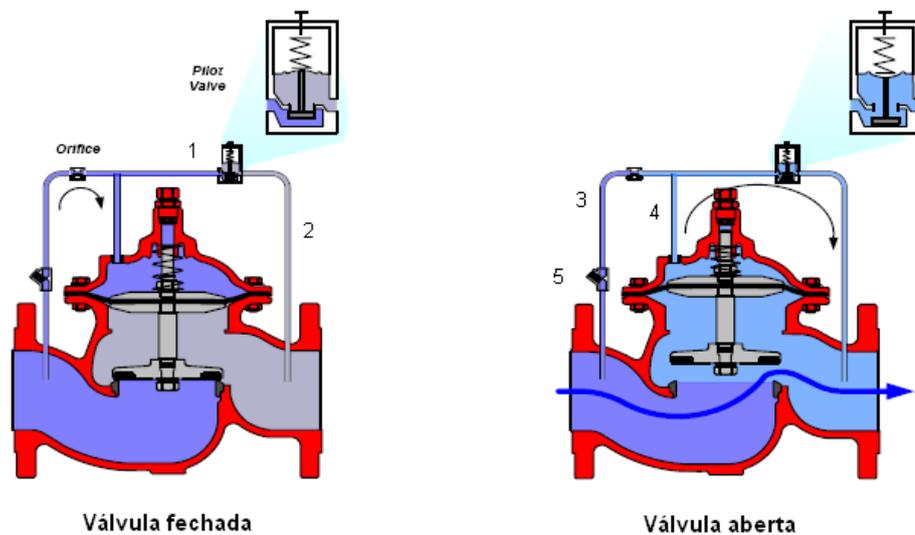


Fig.2. 23 – Representação esquemática do funcionamento de uma VRP de globo com circuito piloto. Legenda: 1 - piloto; 2 – circuito de despressurização; 3 – circuito de pressurização do piloto; 4 – circuito de pressurização da câmara de pressurização; 5 – filtro (Adaptado de Heimann, A., *et al.*, 2012)

É ainda importante salientar a existência de um filtro no circuito de pressurização do piloto, que tem como função filtrar as impurezas e impedir a colmatagem e danificação do sistema. Existem dois tipos de filtros: em Y e horizontal, como se verifica na Figura 2.24. O filtro horizontal tem como vantagem uma maior facilidade de limpeza.

Na Figura 2.25 está representado um filtro horizontal de alta capacidade, com uma malha de filtragem de 50 cm². Este filtro foi concebido para integrar um sistema de purga elétrica temporizada, facilitando a sua manutenção, nomeadamente em locais remotos e pouco acessíveis (BERMAD Water Control Solutions, 2013b).

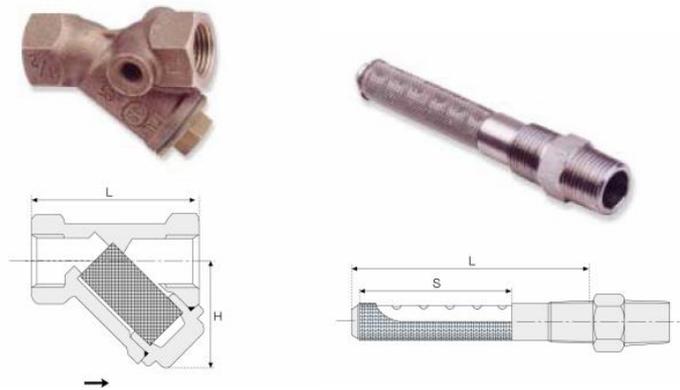


Fig.2. 24 – Filtro em Y e horizontal, respetivamente (Adaptado de BERMAD Water Control Solutions, 2013b)

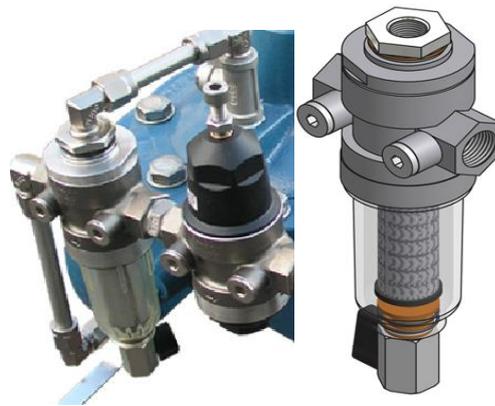


Fig.2. 25 – Filtro horizontal concebido para integrar uma purga elétrica temporizada (Adaptado de Tecnilab Portugal, S.A., 2013b)

As VRP hidráulicas com funcionamento para dois patamares de pressão são reguladas a partir de um programador. Tem-se como exemplo a válvula da Tecnilab Portugal, S.A. presente da Figura 2.26. De acordo com Tecnilab Portugal, S.A. (2013c) esta válvula possui dois pilotos redutores de pressão instalados em paralelo. Estes são isolados por um piloto elétrico biestável, que está ligado a um programador autónomo alimentado por uma pilha. O programador permite a programação de períodos temporais de 0 a 12 horas.



Fig.2. 26 – VRP hidráulica com dois pilotos e programador (Tecnilab Portugal, S.A., 2013c)

Tal como no acionamento pneumático, as VRP com sistema de acionamento hidráulico também poderão ser controladas automaticamente com o uso de um controlador eletrónico. Assim, consegue-se definir mais do que dois patamares de pressão de jusante, podendo estabelecer-se uma modulação horária, por ponto crítico ou pelo consumo num mesmo controlador. Os controladores atualmente comercializados são extremamente flexíveis, já que são programáveis de acordo com a modulação exigida.

O controlador dá indicação ao sistema de acionamento da abertura e do fecho da válvula, o que permite um ajuste bastante aperfeiçoado, mediante as condições hidráulicas no sistema de distribuição. Assim, são conseguidos vários patamares de pressão ao longo do dia. O controlador serve também como *data logger*, já que permite o registo dos valores de caudal e pressão no sistema, e poderá ser dotado de um sistema de telegestão, transmitindo, em tempo real, as medições para a central da EG.

Na Figura 2.27 está representado um controlador inteligente de VRP com saída de pressão modulada em função do tempo e/ou caudal, designado por Pegasus GSM da Hidro Melhoras, Lda.

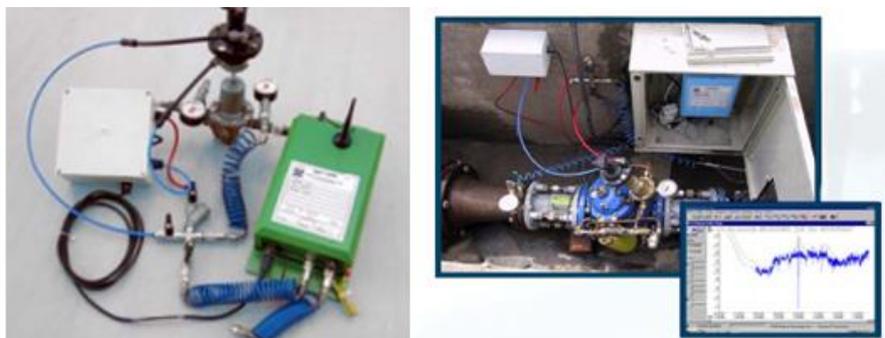


Fig.2. 27 – Controlador Pegasus GSM (Hidro Melhoras, Lda, 2013)

Na Figura 2.28 é possível visualizar um sistema de redução da pressão com uma VRP com controlador modulada pela pressão em ponto crítico. Verifica-se então a necessidade de telemetria para encaminhamento dos valores de pressão registados no ponto crítico até ao controlador da VRP.

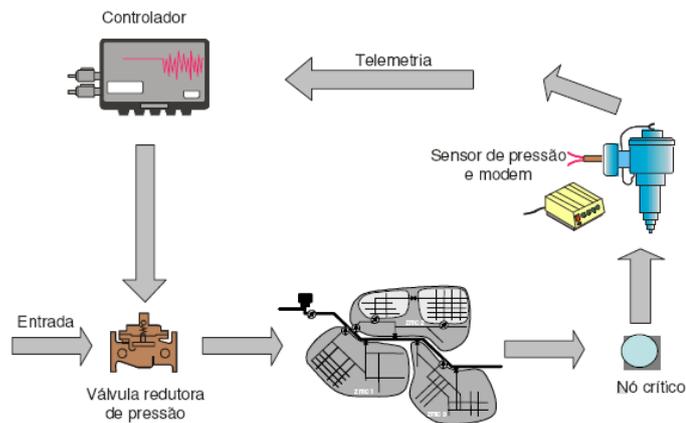


Fig.2. 28 – Redução da pressão por VRP com pressão de saída modulada por pressão em ponto crítico (Alegre, H., *et al.*, 2005)

Caso a VRP fosse modulada pelo consumo seria necessário um caudalímetro para determinação dos valores, em tempo real, do consumo, sendo estes imediatamente encaminhados para o controlador, sem recurso à telemetria.

As VRP com controlador são mais robustas e têm maiores custos de investimento e operação, já que existe um considerável consumo de energia elétrica. Caso haja uma falha de energia o piloto deve continuar a controlar a válvula para o último ajuste de pressão de jusante efetuado. Contudo, são mais vantajosas, em termos de estratégia de redução da pressão, já que são reguladas com modulação horária, pelo consumo ou pelo ponto crítico. Existe, assim, um ajuste constante no tempo da pressão de jusante (CLA-VAL, 2013).

As VRP podem ser de câmara simples ou de câmara dupla. As válvulas de câmara simples são *standard*, estando o diafragma em contato com a água do circuito piloto e com a água que é transportada no sistema de distribuição (Motta, R., 2010). Já nas válvulas de câmara dupla o diafragma é isolado e tem contato apenas com a água do sistema piloto (Motta, R., 2010). Estas possuem uma câmara de controlo adicional, situada abaixo do diafragma. A câmara dupla permite o uso de fontes externas de pressão como auxílio na atuação da válvula, para situações em que não existe pressão suficiente para fazer descer o conjunto haste, diafragma e obturador e assim reduzir a pressão de jusante (Heimann, A., *et al.*, 2012).

Na Figura 2.29 estão representados os dois tipos de câmara: simples e dupla.

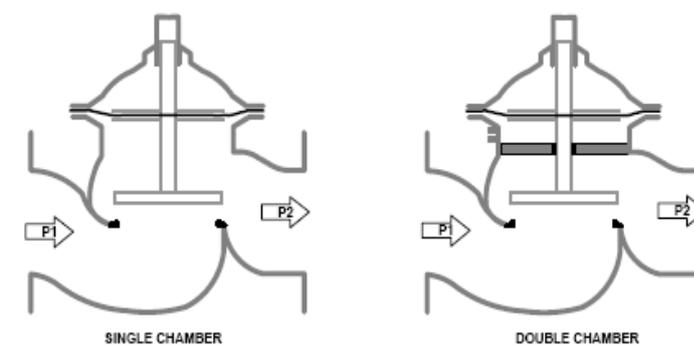


Fig.2. 29 – Representação esquemática de VRP com câmara simples e câmara dupla, respetivamente (Heimann, A., *et al.*, 2012)

2.9.2.2. Modalidades de Controlo

Para o funcionamento de uma VRP é necessário considerar três aspetos: a pressão de montante, a pressão de jusante e a perda de carga hidráulica da válvula. A pressão máxima de jusante verifica-se quando a válvula se encontra totalmente aberta, sendo a perda de carga induzida nula. Como é expectável, quanto maior a pressão máxima de jusante de uma VRP menor será a redução conseguida.

Uma VRP tem como função reduzir a pressão de jusante, através do aumento da perda de carga localizada no sistema (Bairos, A., 2008). Este valor deverá estar compreendido entre 100 e 600 kPa, de acordo com o Decreto Regulamentar 23/95 de 23 de agosto.

Caso a pressão de montante seja insuficiente e inferior à pressão máxima de jusante da VRP a válvula abre totalmente, mantendo a montante e a jusante um igual valor de pressão. Nesta situação existe uma perda de carga localizada intrínseca associada à válvula aberta, que por sua vez é mínima (Bairos, A., 2008).

São diversas as modalidades de funcionamento de uma VRP, a saber:

- **Modulação Simples**

A VRP reduz e estabiliza a pressão a jusante desta, mantendo a pressão de saída fixa, constante e igual a um determinado valor pré-estabelecido, independentemente da pressão de montante e do caudal debitado no sistema (Bairos, A., 2008). Neste sistema não é utilizado o controlador, sendo aplicadas válvulas puramente hidráulicas, e não necessita de telemetria. Assim, a VRP com pressão de saída fixa consiste no modelo mais simples e económico. É aplicado em zonas em que se verifiquem variações mínimas no consumo e perdas de carga relativamente pequenas, inferiores a 10 m.c.a. (Alegre, H., *et al.*, 2005). Uma VRP com modulação simples (como é habitualmente designada) é, normalmente, instalada em subZMC ou em troços de pressão elevada (Martins, J.P., 2012).

Neste tipo de sistema para as horas de muito baixo consumo e, por conseguinte, elevadíssimas pressões a VRP tende a fechar totalmente, existindo um enorme desgaste do obturador.

- **Modulação Horária**

Neste sistema a pressão é mantida constante em intervalos de tempo pré-definidos, variando de intervalo para intervalo. Vulgarmente, são utilizados dois patamares de pressão, um correspondente ao período diurno e outro para o período noturno (Bairos, A., 2008). Para a sua concretização são usadas

válvulas hidráulicas com dois pilotos e com um programador incorporado. Este tipo de sistema é geralmente implementado em subZMC onde o caudal é, aproximadamente, padronizado (Martins, J.P., 2012).

Porém, caso seja utilizado um controlador são conseguidos vários patamares para a pressão de saída. A instalação de uma VRP modulada pelo tempo é apropriada para casos em que o sistema apresenta perdas de carga significativas, ou seja, superiores a 10 m.c.a. e em que o perfil de consumo seja regular. Este sistema consiste numa das soluções mais económicas, já que representa uma forma simples de controlo avançado da pressão (Bairos, A., 2008). A modulação horária é na sua maioria utilizada em VRP instaladas nos pontos de entrega (Martins, J.P., 2012).

Como principal desvantagem para este tipo de VRP surge a ocorrência imprevista de consumos elevados, como por exemplo em situações de combate a incêndios. Como a regulação é fixa, a consequente redução da pressão poderá tornar-se problemática se este tipo de acontecimentos ocorrer em períodos de menor pressão, ou seja, de maior consumo. A modulação horária não é sensível a mudanças no consumo, já que a pressão de saída da válvula é atribuída de hora a hora. Logo, por muito que aumente o consumo, enquanto a hora não mudar, a pressão de saída também não se irá modificar.

Uma outra limitação consiste no facto de não ser conveniente o estabelecimento de um valor elevado de perda de carga, dado o risco de ocorrência de choque hidráulico e de cavitação (Alegre, H., *et al.*, 2005).

- **Modulação pelo Caudal**

A utilização de uma VRP com pressão de saída modulada pelo consumo é recomendada para situações em que existem grandes perdas de carga no sistema, por exemplo em grandes áreas, e mudanças no perfil de consumo. Estas podem ser causadas por variações na população, como é o caso dos efeitos sazonais.

Este sistema necessita de estar associado a um caudalímetro, já que a pressão é estabelecida de acordo com o consumo, e a um controlador. Assim, é minimizada a pressão excessiva na zona a jusante. Com esta modulação obtém-se uma maior flexibilidade no controlo, comparativamente com o funcionamento de uma VRP modulada pelo tempo, contudo o custo de investimento é superior, pela necessidade de caudalímetro. (Alegre, H., *et al.*, 2005).

Neste tipo de modulação o aumento do consumo proporciona uma maior abertura da válvula, com vista ao incremento da pressão de saída, o que faz com que o caudal de fugas também aumente, constituindo uma desvantagem deste tipo de sistemas.

- **Modulação pelo Ponto Crítico**

Este tipo de modulação da VRP permite o seu controlo a partir dos valores de pressão, medidos por um manómetro, no ponto crítico. Estes são, em tempo real, encaminhados até ao controlador da válvula, com a utilização de um sistema de telemetria (Alegre, H., *et al.*, 2005). Não é aconselhável que uma VRP modulada de acordo com a pressão no ponto crítico seja instalada numa zona de grande flutuação de pressão, devido ao excessivo desgaste da bateria do controlador e, assim, à sua constante necessidade de substituição. Tal constitui um prejuízo operacional e económico.

A modalidade da VRP com pressão de saída fixa é considerado como convencional, enquanto a modulação horária, pelo caudal ou pela pressão no ponto crítico enquadram-se nos sistemas não convencionais.

A grande vantagem das válvulas não convencionais consiste na uniformização da pressão no respetivo setor da rede durante o dia, sem prejuízo dos consumidores. A VRP modulada pelo consumo permite que a pressão na rede se ajuste aos consumos ao longo do dia, ajustando a pressão a jusante ao débito de caudal no sistema. Esta funciona com pressões mais baixas durante as horas de menor consumo e com pressões mais elevadas no período de maior consumo (Bairos, 2008). Em termos económicos é a modulação simples a que necessita de menores custos de investimento, operação e manutenção. Já as modulações pelo consumo e pela pressão no ponto crítico são as que geram maiores custos para a EG, contudo são as que alcançam maiores benefícios em termos de redução da pressão.

2.9.2.3. Perda de Carga Hidráulica

Uma VRP inserida num sistema hidráulico tem como função provocar uma maior ou menor resistência ao escoamento e, por conseguinte, fazer dissipar energia localmente, pela introdução de uma perda de carga hidráulica. Existem diferentes tipos de válvulas sendo que, as perdas de carga introduzidas no escoamento são função das características geométricas e da posição do obturador (Bairos, 2008). O comportamento hidráulico de uma válvula é descrito pela seguinte expressão matemática (Bairos, 2008):

$$\Delta H_v = K_v \times \frac{v_0^2}{2g} \quad (2.6)$$

Em que:

ΔH_v = Perda de carga hidráulica induzida pela válvula (m.c.a.);

K_v = Coeficiente de perda de carga na válvula;

v_0 = Velocidade de referência (m/s);

g = Aceleração gravítica ($9,8 \text{ m/s}^2$).

Alterando o grau de abertura da válvula o regime hidráulico torna-se temporariamente variável, existindo variações de pressão que podem prejudicar a operacionalidade e a segurança do sistema (Bairos, A., 2008). Na Figura 2.30 é possível visualizar a perda de carga provocada por uma VRP.

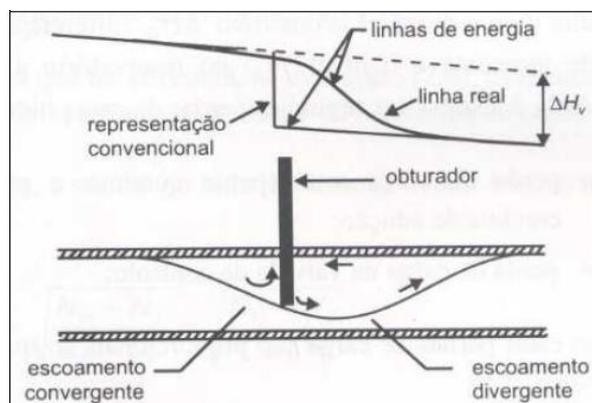


Fig.2. 30 – Perda de carga hidráulica induzida por uma VRP (Bairos, A., 2008)

2.9.2.4. Coeficiente de Perda de Carga

O coeficiente de perda de carga nas válvulas, K_v , é dependente do Re e da configuração geométrica da instalação. Na Figura 2.31 está representado um gráfico que exprime a relação entre o Re e o K_v .

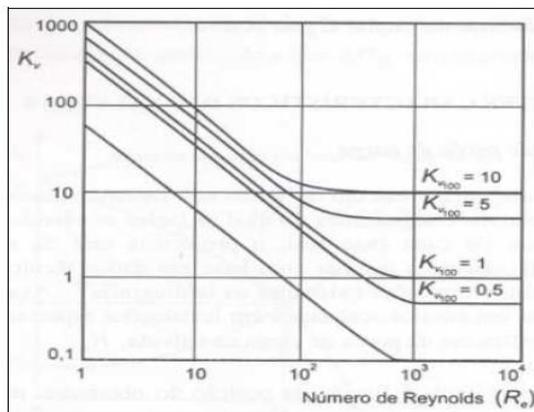


Fig.2. 31 – Gráfico representativo do valor de K_v em função do Re para válvulas totalmente abertas (Bairos, A., 2008)

É possível concluir a partir da Figura 2.31 que para valores de Re superiores a 1000 o valor do K_v mantém-se constante. A existência de cavitação na VRP poderá alterar significativamente este coeficiente (Bairos, A., 2008). Na Figura 2.32 está representado um gráfico que relaciona o K_v com o grau de abertura de uma válvula de globo.

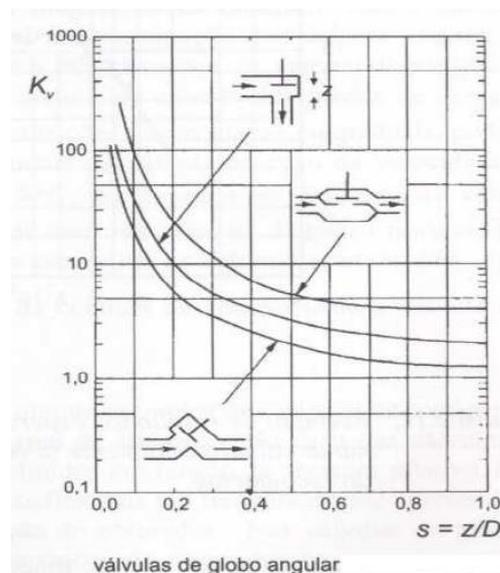


Fig.2. 32 – Valores de K_v numa VRP de globo para diferentes graus de abertura (Adaptado de Bairos, A., 2008)

Existe um conjunto de gráficos que relaciona o K_v com o Re do escoamento e com o grau de abertura da válvula. Porém, sempre que possível, devem usar-se os dados relativos às características reais das

válvulas que serão instaladas. Assim, gráficos e tabelas deverão ser obtidos junto do fabricante, de modo fazer-se o dimensionamento correto da VRP.

2.9.2.5. Dimensionamento

O dimensionamento de uma VRP é fundamental para a sua seleção. Os fabricantes de válvulas disponibilizam meios para a sua realização, quer seja com a utilização de um *software* específico, ábacos ou fórmulas genéricas.

Independentemente do método de dimensionamento selecionado destacam-se alguns dados relacionados com as condições de serviço que deverão ser fornecidos pelo projetista, nomeadamente o caudal máximo e mínimo do escoamento, as pressões máxima e mínima a montante e a jusante da válvula, a perda de pressão requerida e o Diâmetro Nominal da Conduto (DN).

Quando é utilizado um *software* específico o programa fornece o DN da válvula a instalar e todas as suas características, nomeadamente a Pressão Nominal (PN), o K_v , o caudal máximo e o ruído. Poderá também alertar da possibilidade de cavitação.

O uso de ábacos e gráficos, fornecidos pelos fabricantes, é mais trabalhoso do que a utilização de um *software*. Este último baseia-se em algoritmos representativos das leis hidráulicas e nas características das válvulas de cada fabricante.

Relativamente ao método que utiliza as fórmulas genéricas são, seguidamente, apresentados os passos de cálculo da Tecnilab Portugal, S.A.

Inicialmente, calcula-se a diferença entre a pressão de montante e a pressão a regular (pressão de jusante) para ser possível verificar pelo gráfico da Figura 2.33 a possibilidade de ocorrência de cavitação. Este permite também a seleção do obturador mais apropriado.

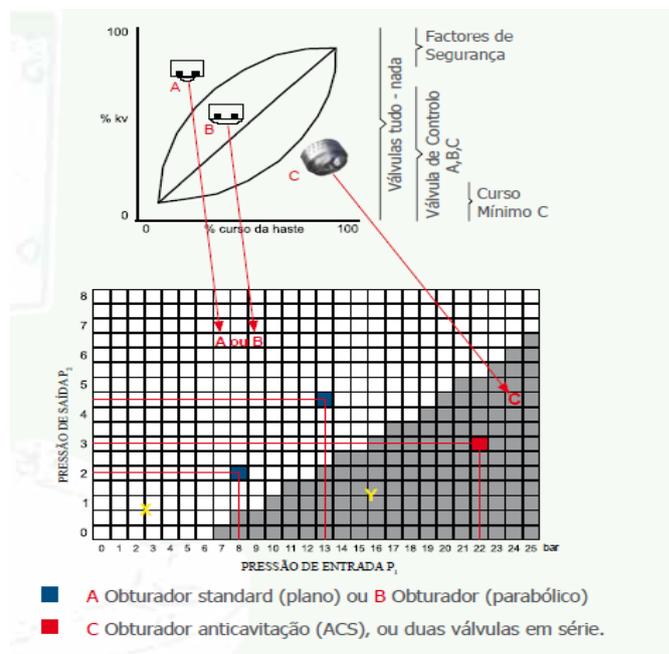


Fig.2. 33 – Gráfico exemplo referente à possibilidade de cavitação (Tecnilab Portugal, S.A., 2013a)

A área a cinzento significa que existe probabilidade de ocorrência de cavitação e, deste modo, a Tecnilab Portugal, S.A. oferece como solução o uso de um obturador anticavitação.

Posteriormente é calculado o K_v a partir da expressão 2.7 (Tecnilab Portugal, S.A., 2013a):

$$K_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}} \quad (2.7)$$

Em que:

K_v = Coeficiente de perda de carga (em m^3/h , para água à temperatura de $15^\circ C$ com um diferencial de pressão de 1 bar);

$Q_{\text{máximo}}$ = Caudal máximo escoado através da válvula (m^3/h);

ΔP = Diferença entre a pressão de montante e a pressão a regular (bar).

De seguida deve ser consultado um quadro, disponibilizado pelo fabricante, referente aos fatores de segurança do K_v em função do tipo de válvula disponível no mercado. Este fator evita que em situações extremas, o controlo pretendido deixe de se efetuar. O valor obtido de K_v será então multiplicado por este fator.

O Quadro 2.5 é fornecido ao projetista pela Tecnilab Portugal, S.A., sendo que apenas os modelos 02 e 03 correspondem a VRP. Os restantes modelos correspondem a válvulas que executam outro tipo de funções, como é o caso do controlo de bombagem.

Quadro 2. 5 – Valores exemplo do fator de segurança para os diferentes tipos de válvulas disponíveis pelo fabricante (Tecnilab, Portugal, S.A., 2013a)

Modelo	01	02	03	04	05	06	07	08	09
Fator	1.1	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.9	1.2	2.2

Posteriormente é consultado um quadro, semelhante ao Quadro 2.6, onde estão presentes os diferentes valor de K_v , o DN da válvula e os diferentes modelos de VRP (ver Figura 2.34). Com o valor do K_v (já multiplicado pelo fator de segurança) e para o modelo que se pretende obtém-se o DN da VRP.

O correto dimensionamento de uma VRP implica que o seu DN não seja demasiadamente elevado, de modo a evitarem-se situações de sobredimensionamento. Estas fazem com que a válvula esteja frequentemente fechada, proporcionando o desgaste do obturador e, conseqüentemente, maiores custos de manutenção e operação. Segundo Bairos, A. (2008) o diâmetro da válvula deverá ser inferior ao diâmetro da conduta onde esta é instalada.

Quadro 2. 6 – Valores de K_v e modelos de VRP para determinação do DN da válvula (Adaptado de Tecnilab, Portugal, S.A., 2013a)

Modelo	Valores de K_v								
DN	50	65	80	100	125	150	200	300	350
F.200	30	90	110	200	416	600	800	1380	2100
F.200 R	21	30	90	110	200	220	416	600	800
F.200 W	30	90	110	200	220	416	600	800	1380
F.200 WR	21	30	90	110	200	220	416	600	800



Fig.2. 34 – Modelos de VRP da Tecnilab Portugal, S.A (Tecnilab Portugal, S.A., 2013a)

Por último, aquando da seleção de uma VRP, é imperativo a determinação da PN, dado que esta indica a resistência em termos de pressão que a válvula oferece até ao seu ponto de rotura.

A determinação da PN é dependente das condições em que a válvula irá trabalhar e, por conseguinte, será necessário possuir um conhecimento detalhado do escoamento (temperatura, velocidade, viscosidade, entre outros).

Usualmente, os fabricantes disponibilizam válvulas PN10, PN16, PN25, que são as mais vulgarmente aplicadas em redes de água. Uma válvula PN25 exige acessórios mais robustos do que uma válvula PN10 ou PN16. Já uma válvula PN40 terá de ser construída num material mais resistente e robusto, como por exemplo em aço carbono. Já as restantes são, comumente, construídas em ferro fundido dúctil.

No Quadro 2.7 é possível visualizar os vários preços (em €) de uma VRP, em função do DN e da PN. Estes valores foram retirados de um Catálogo da SAINT-GOBAIN PAM relativo ao ano de 2004 (Bairos, A., 2008).

Quadro 2. 7 – Custo de uma VRP considerando a PN e o DN (Adaptado de Bairos, A., 2008)

DN	Preço (€)	
	PN 10/16	PN 25
50	1350.65	1353.25
65	1412.99	1412.99
80	1555.84	1555.84
100	1657.14	1909.09
125	2028.57	2433.77
150	2150.57	2581.82
200	3036.36	3644.16
250	4602.60	5524.68
300	6690.91	8031.17

2.9.2.6. Fases do Projeto de Instalação

O desenvolvimento de um projeto de instalação de uma VRP deve considerar as seguintes etapas:

- Análise do histórico de roturas na totalidade da rede de distribuição, determinando-se, assim, os setores mais críticos;
- Identificação das ZMC onde os valores de pressão excedem os legalmente aplicáveis;
- Identificação do ponto crítico da ZMC onde irá ser instalada a VRP;
- Realização de um diagnóstico técnico com vista à identificação do local mais apropriado para a instalação da válvula, com a utilização de um *software* de apoio ao projeto. Este local corresponde ao que garante uma área de influência mais ampla;
- Criação de uma subZMC que garanta estanquidade hidráulica;
- Dimensionamento da VRP, seleção da modulação mais vantajosa, com recurso ao fabricante destes equipamentos, e definição dos controlos;
- Implementação da válvula com a construção da câmara de manobra, equipada com dispositivos de drenagem com vista à manutenção do ambiente seco, e instalação da VRP, juntamente com todos os acessórios necessários para o seu funcionamento (filtro, manómetros, caudalímetro se necessário, junta de desmontagem, válvulas de seccionamento);
- Instalação do *data logger* e programação deste, com recurso a um computador, para registo dos valores medidos e encaminhamento para a central da EG (sistema de telegestão);
- Calibração da VRP.

A calibração da válvula é realizada com a programação dos controladores, caso esta possua uma modulação horária, pelo consumo ou pelo ponto crítico. Se a VRP possuir uma modulação simples (pressão de saída fixa) esta deverá ser calibrada para a pressão de saída requerida, através do ajuste do parafuso existente na válvula piloto. O ajuste é realizado através do valor medido pelo manómetro.

Durante a calibração deve ser medida a pressão nas proximidades da válvula, por exemplo num marco de incêndio, de modo a testar o seu correto funcionamento.

2.9.3. UTILIZAÇÃO DA MODELAÇÃO HIDRÁULICA NA IMPLEMENTAÇÃO DE VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os modelos de simulação hidráulica representam um conjunto de *software* que analisa e faz previsões sobre o comportamento hidráulico e os parâmetros de qualidade da água de um sistema com uma margem de erro estimável, a partir das características dos seus componentes, da sua forma de operação e dos consumos solicitados. Logo, consegue-se uma rápida e eficaz realização de análises de sensibilidade e a simulação de vários cenários, com ausência de interferências com o sistema (Coelho, S., *et al.*, 2006).

A modelação hidráulica é atualmente um instrumento com uma vasta aplicabilidade, podendo ser utilizada no domínio do planeamento, projeto, operação, manutenção e reabilitação de SAA. Com a sua utilização são objetivos prioritários o controlo de perdas, o aumento do conhecimento do comportamento da rede e o apoio ao controlo operacional, o controlo da qualidade da água, o apoio à concessão de licenciamentos e o apoio ao planeamento dos sistemas (setorização) (Coelho, S., *et al.*, 2006).

Os engenheiros têm ao seu dispor um instrumento de trabalho muito útil na tomada de decisões, como é o caso da execução de um projeto de implementação de uma VRP em SAA. O *software* mais utilizado nesta tarefa é o *WaterGEMS* da *Bentley*, que consiste num programa informático bem mais desenvolvido que o já muito utilizado *EPANET*. O *WaterGEMS* auxilia as EG a analisar, dimensionar e otimizar os sistemas de distribuição de água.

Quando se pretende realizar a implementação de uma ou várias VRP ou durante a otimização de uma VRP já existente num SAA é fulcral a realização de simulações, com vista à averiguação das modificações produzidas e do comportamento de todo o sistema ao longo do tempo.

No *WaterGEMS* podem ser modelados um conjunto de cenários, em que são modificadas uma ou mais variáveis (designadas por alternativas). Por exemplo, é importante para o projetista definir qual o sistema de controlo a aplicar à VRP (modulação simples, modulação horária, modulação pelo consumo, modulação pelo ponto crítico), podendo-se definir um cenário para cada tipo. Assim, determina-se qual o sistema de controlo que produz melhores resultados, essencialmente em termos de pressão, garantindo a redução da pressão e o abastecimento contínuo de água à população. Poderá também definir-se o funcionamento da válvula, construindo o melhor padrão horário, para o caso da modulação horária. Em termos de caudal funciona do mesmo modo, sendo também possível definir o funcionamento da válvula utilizando os designados controlos, os quais relacionam o consumo com a pressão a jusante.

Com este *software* podem ser simuladas fugas e roturas na rede de abastecimento através da ferramenta *Pressure Dependent Demand* (PDD), em que o consumo varia em função da pressão. Isto permite a determinação do volume de água perdida através destas.

No *WaterGEMS*, inicialmente é inserida a rede de abastecimento de água em estudo, existente num Sistema de Informação Geográfica (SIG). Um SIG é projetado para georreferenciar e armazenar toda a informação descritiva existente sobre cada componente da rede (condutas, válvulas, estações elevatórias, reservatórios, entre outros componentes). Existe, assim, uma comunicação eficaz entre estes dois tipos de *software*. Quando tal não é possível, no programa poderá ser desenhada

manualmente toda a rede. Isto é, normalmente, efetuado quando se pretende projetar uma rede de abastecimento de água.

A rede de abastecimento é representada esquematicamente no modelo, existindo um conjunto de nós, cuja posição é definida através de coordenadas planimétricas e de uma cota, estando estes ligados por troços que representam as condutas. Na Figura 2.35 é possível visualizar a *interface* do *WaterGEMS*, onde está inserida uma rede de abastecimento de água conseguida a partir de uma ferramenta SIG.

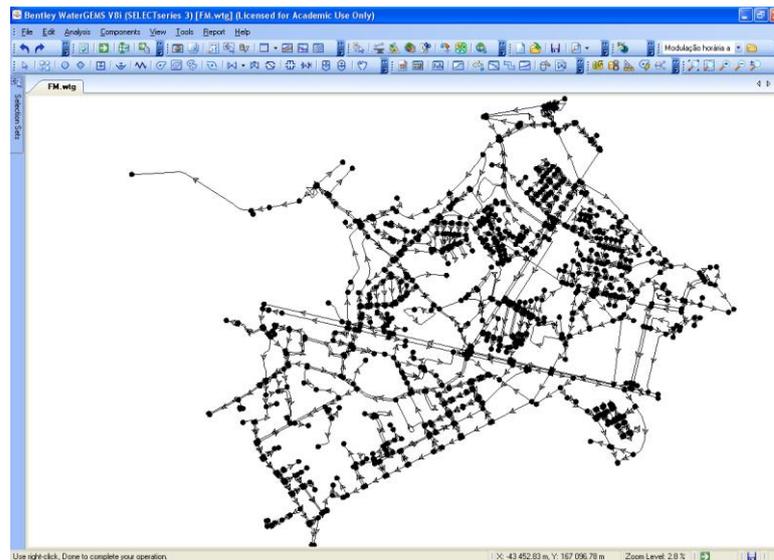


Fig.2. 35 – Interface do *WaterGEMS* e modelo de uma rede de abastecimento de água

As entradas e as saídas de caudal da rede, ou seja, o abastecimento e o consumo, têm lugar nos nós. Na Figura 2.36 visualiza-se como são atribuídos os consumos aos respetivos nós: os consumos c_1 a c_3 são atribuídos ao nó i , já que estão mais próximos deste, enquanto os consumos c_4 e c_5 são atribuídos ao nó j (Coelho, S., *et al.*, 2006).



Fig.2. 36 – Atribuição dos consumos aos nós (Coelho, S., *et al.*, 2006)

Nas condutas podem estar acoplados órgãos e acessórios, tais como válvulas e bombas. Os reservatórios são pontos onde são impostas condições fronteira relativamente à superfície piezométrica, a que podem estar ou não associadas relações entre a altura de água e um volume de água armazenado (Coelho, S., *et al.*, 2006).

Seguidamente, são inseridos manualmente no *WaterGEMS* os dados relativos às características físicas do sistema (diâmetro e comprimento de condutas, diâmetro de válvulas, cotas, rugosidades e materiais), caso não tenham sido exportados através dos SIG, consumos, e condições operacionais.

Depois de inseridos os dados, são realizadas várias simulações para os cenários a modelar. Estas poderão ser estáticas, e assim realizadas para um determinado momento no tempo, ou em período alargado, ocorrendo para um determinado período de tempo em intervalos pré-definidos. O *software* utiliza algoritmos numéricos para a resolução de um conjunto de equações matemáticas, que reproduzem o comportamento hidráulico do sistema em estudo, expressas em termos das principais variáveis de estado (o caudal nas condutas, a pressão nos nós, a velocidade do escoamento nas condutas, entre outros).

Como resultados finais, o *software* calcula o equilíbrio hidráulico do sistema e exprime de forma numérica ou gráfica os valores das variáveis de estado: a pressão, a cota piezométrica, o nível de água nos reservatórios, a velocidade do escoamento, a perda de carga e o caudal nas condutas, válvulas e bombas (Coelho, S., *et al.*, 2006). Com os resultados a partir das várias simulações e cenários é possível tirar conclusões e tomar decisões, relativas ao projeto e implementação da VRP numa dada zona. É realmente importante a determinação da pressão nos pontos mais críticos do sistema e verificar qual a solução que garante maior eficácia e um menor custo. Na Figura 2.37 estão explicitadas as fases imperativas na conceção de um modelo.

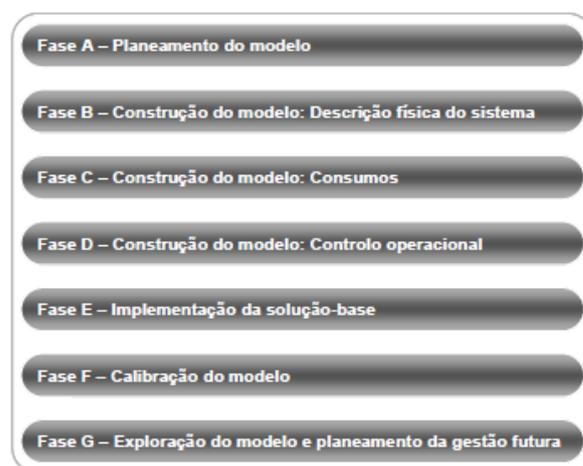


Fig.2. 37 – Etapas necessárias na construção de um modelo de simulação hidráulica (Coelho, S., *et al.*, 2006)

2.9.4. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Em alguns países, notavelmente no Japão e no Reino Unido, a importância da gestão da pressão, com vista à minimização do seu excesso é amplamente reconhecida como um aspeto fundamental na estratégia de redução das perdas de água.

Assim, nos subcapítulos seguintes são apresentados casos reais onde foi implementada a estratégia de redução das perdas reais com a implementação de uma ou várias VRP no SAA em causa.

2.9.4.1. Khayelitsha

Khayelitsha é um dos maiores municípios de África do Sul. O SAA desta cidade possui cerca de 43.000 clientes, sendo que no início do ano 2000 foi estimado um consumo de água de aproximadamente 22 milhões de m³/ano. No mesmo ano, foram também estimadas as perdas de água, a partir do consumo noturno mínimo, sendo estas de 1600 m³/h, ou seja, de aproximadamente três quartos do consumo total. O sistema estava exposto a pressões extremamente altas, de sensivelmente

80 m.c.a., originando um número elevado de fugas e roturas e a danificação de toda a rede de abastecimento (Mckenzie, R, *et al.*, 2009).

Em 2001 iniciou-se um projeto para melhorar o nível de serviço à comunidade, reduzindo os excessivos valores de pressão e a sua flutuação ao longo do dia. A instalação construída possui três VRP instaladas em paralelo, cada uma destas com pressão de saída modulada em função do consumo, através de um controlador eletrónico (Mckenzie, R, *et al.*, 2009). Esta instalação exigiu uma área elevada para a sua implementação. A estrutura da instalação está representada na Figura 2.38.

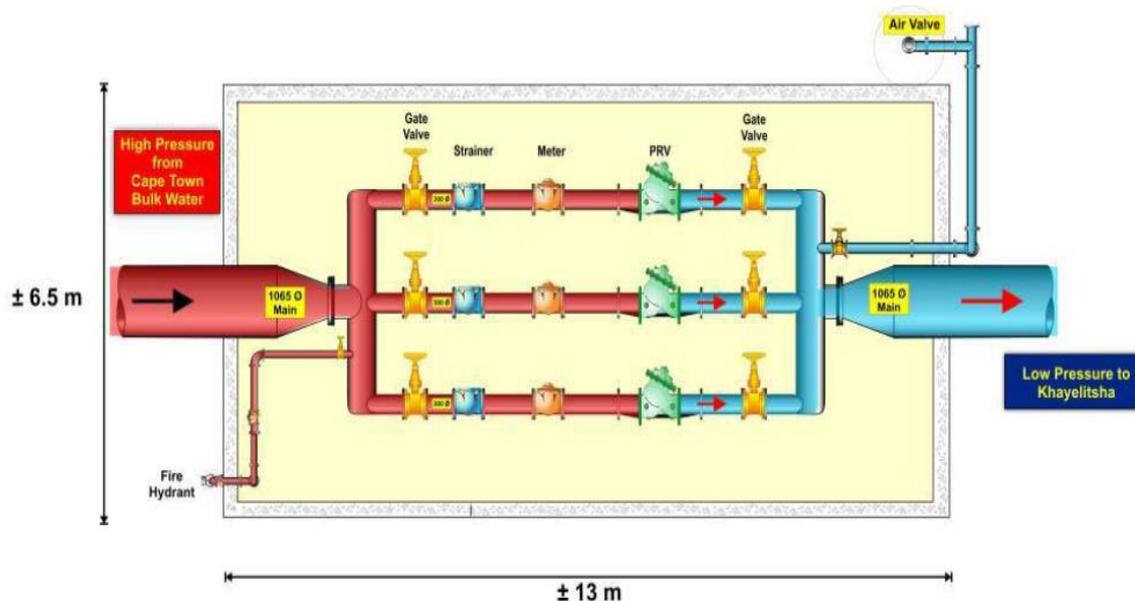


Fig.2. 38 – Esquema da instalação da VRP de Khayelitsha (Mckenzie, R, *et al.*, 2009)

Com este projeto, o consumo diário médio foi reduzido de 2500 m³/h para 1500 m³/h, o que representa uma poupança anual de 9 milhões de m³ de água. Quando ao consumo noturno mínimo houve uma redução notável de 1600 m³/h para 750 m³/h. Em termos económicos a poupança superou as expectativas, sendo o tempo de amortização do projeto de apenas três meses (Mckenzie, R, *et al.*, 2009).

África do Sul foi um dos primeiros países a reconhecer os benefícios que podem ser obtidos a partir de instalações avançadas para o controlo da pressão em SAA, possuindo, atualmente, três das maiores instalações mundiais. Este conjunto de infraestruturas recebeu um reconhecimento considerável de vários serviços públicos de água e agências de financiamento, de todo o mundo, e tem sido frequentemente mencionado para destacar as “melhores práticas mundiais” no âmbito da redução das perdas de água (Mckenzie, R, *et al.*, 2009).

Na Figura 2.39 está representada a instalação implementada, sendo possível visualizar as três VRP que desta fazem parte, bem como todos os órgãos acessórios.



Fig.2. 39 – Instalação construída para o controlo de pressão em Khayelitsha (Mckenzie, R., *et al.*, 2009)

2.9.4.2. Skopje

As perdas de água através de fugas e roturas constituem um problema sério das EG dos SAA na Republica da Macedónia, já que na maioria dos sistemas estas estão compreendidas entre 40 e 65%. Em muitos sistemas do país estas excedem o volume de água que é realmente consumido pelos clientes e que origina receita. Na cidade de Skopje foi, em 2011, implementada uma estratégia de redução da pressão no SAA, nomeadamente na ZMC de Lisiche. Esta zona possuía 4150 clientes e um comprimento total de condutas de 33 km (Ristovski, B., 2011).

O projeto constou na instalação de uma VRP do tipo diafragma (globo) com um diâmetro de 200 mm numa conduta de igual diâmetro e construída em ferro fundido. A VRP possuía um medidor eletromagnético de caudal, sendo esta operada com pressão de saída modulada pelo consumo (Ristovski, B., 2011).

A instalação está representada na Figura 2.40.



Fig.2. 40 – VRP instalada em câmara de manobra na ZMC de Lisiche (Ristovski, B., 2011)

Com a implementação da VRP conseguiu-se uma redução do consumo noturno mínimo de 28, 50 l/s para 18,90 l/s. Relativamente à pressão, para o período de menor consumo esta foi reduzida de, aproximadamente, 46 m.c.a para 35 m.c.a, tal como é possível verificar no gráfico da Figura 2.41 (Ristovski, B., 2011).

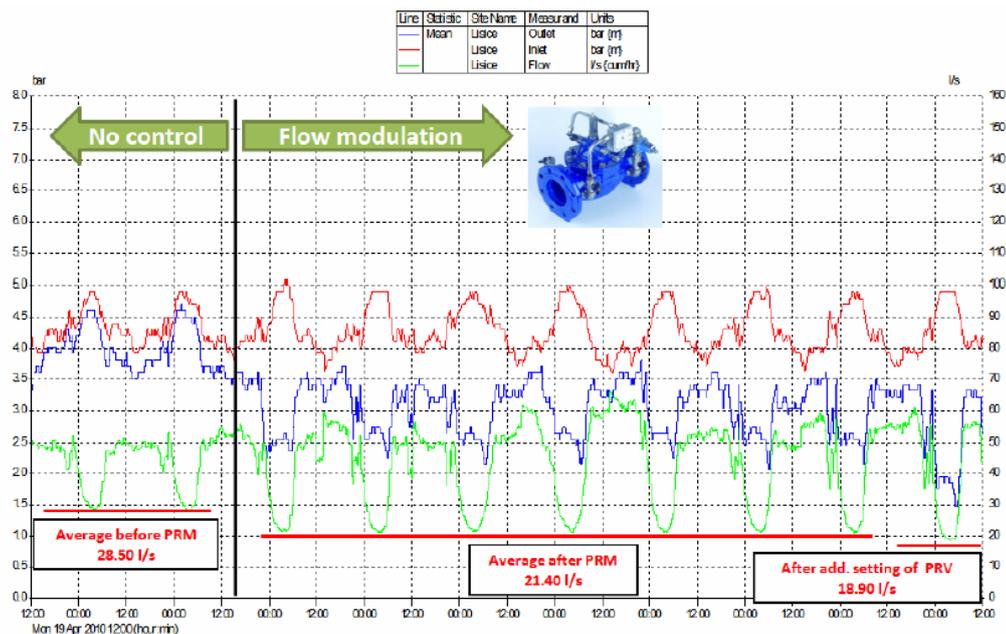


Fig.2. 41 – Resultados obtidos após a instalação da VRP na ZMC de Lisiche (Ristovski, B., 2011)

2.9.4.3. Rio Grande do Sul

Decorria o ano de 1998 e no SAA de Santa Maria, em Rio Grande do Sul no Brasil, eram frequentes as roturas nas condutas do setor leste da cidade, onde predominavam condutas de FC, instaladas na década de 70. A zona central era dominada por condutas construídas em FF, já na rede pertencente às zonas periféricas as condutas eram em PVC (Viegas, J., 2001).

Após a construção de uma nova adutora de água tratada e de um reservatório apoiado foram alteradas as condições operacionais, que se refletiram num aumento da pressão. Por conseguinte, houve um incremento na frequência de roturas, comprometendo a regularidade do abastecimento, um aumento das perdas de água e dos custos de manutenção (Viegas, J., 2001).

A solução adotada consistiu na implementação de um conjunto de VRP, com pressão de saída modulada pelo tempo e com pressão de saída fixa. Porém, anteriormente, procedeu-se à setorização da rede de abastecimento de água definindo-se 7 zonas com potencial para a instalação das válvulas, a saber: Oeste; Camobi; Centro; Carolina; Medianeira; Itararé e F.Ilha. (Viegas, J., 2001).

As características das VRP instaladas em cada zona estão representadas no Quadro 2.8.

Quadro 2. 8 – Distribuição das VRP e suas características (Adaptado de Viegas, J., 2001)

Setor	DN	Modulação
Oeste	250 mm	Temporal
Camobi	250 mm	Temporal
	200 mm	Temporal
Centro	250 mm	Temporal
Carolina	150 mm	Temporal
Medianeira	150 mm	Temporal
Itararé	150 mm	Pressão Fixa
	75 mm	Pressão Fixa
F.Ilha	100 mm	Pressão fixa
	75 mm	Pressão fixa

Depois de instaladas as VRP verificou-se uma diminuição muito significativa do número de roturas, já que entre janeiro e junho de 1998 a ocorrência média de roturas foi de 205,3 roturas/mês e após a redução da pressão a incidência foi reduzida para 111,2 roturas/mês, sendo este valor relativo ao ano 2000 (Viegas, J., 2001).

2.9.5. CONCLUSÃO DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A redução das perdas de água nos sistemas de abastecimento é um objetivo comum da maioria das empresas mundiais de água, quer sejam grandes ou pequenas, públicas ou privadas, em países desenvolvidos ou em desenvolvimento. Porém, a gestão das perdas de água e a deteção de fugas e roturas tem vindo a surgir tardiamente.

Em Portugal são evidentes as elevadas ineficiências no setor, dado que as perdas de água que, atualmente, existem são incontroláveis, constituindo elevados prejuízos ambientais e económicos. Isto deve-se, essencialmente, à falta de salas de comando, de cadastro, de monitorização de entradas e saídas e de piquete para o CAP nas EG. É inaceitável para uma gestão eficiente que, grande parte das EG de SAA em Portugal, não sejam capazes de avaliar o seu índice de perdas.

As perdas de água ocorrem nos diversos componentes de um sistema de abastecimento, sendo classificadas em perdas reais e aparentes.

Em virtude de uma estratégia eficiente de combate às perdas reais existe um conjunto de medidas, a implementar pela seguinte ordem: a gestão da pressão, a qualidade e rapidez das reparações de fugas e roturas, o CAP e, em último caso, a substituição e reabilitação de infraestruturas.

A gestão da pressão corresponde à primeira medida que deve ser implementada, visto que a redução e a estabilização da pressão possibilita a diminuição da probabilidade de ocorrência de fugas e roturas. Por conseguinte, são alcançados importantes benefícios para a EG, em resultado da maximização do tempo de vida útil das infraestruturas e das perdas de água reais mais diminutas. Igualmente, mas menos perceptível, é reduzido o volume de água perdida através das fugas não detetadas. Em

contrapartida, este benefício pode tornar-se num inconveniente, devido à maior dificuldade de afloramento das fugas até à superfície, dificultando a sua deteção.

Independentemente dos inconvenientes resultantes da redução da pressão, são sempre alcançados benefícios económicos, operacionais, ambientais e sociais, principalmente em redes antigas.

A reabilitação e substituição de infraestruturas consiste na última medida a executar pela EG, já que esta requer elevados investimentos.

A criação de ZMC nos SAA é fundamental, com vista à monitorização detalhada de toda a rede de abastecimento e à uniformização da pressão no sistema. Nestas zonas são inseridas válvulas de seccionamento, caudalímetros e manómetros, os quais estão conectados a *data loggers* que registam os valores e os encaminham para a sede da EG. Deste modo, a EG beneficia de um cadastro diariamente atualizado.

Na incapacidade de equilibrar a pressão na rede de abastecimento de água com a sua setorização, a qual visa a alteração do sentido do escoamento, e com a eliminação das estações elevatórias no sistema, a redução da pressão é alcançada com a instalação de VRP. Estas são de fácil e rápida implementação e propiciam, imediatamente, importantes benefícios na área de influência, devido à redução da pressão até níveis operacionais que evitem a falta de água nos pontos mais críticos da rede. Igualmente, a sua instalação requer um investimento que é rapidamente recuperado.

Existem quatro modalidades de funcionamento de uma VRP. Independentemente da modulação instalada todas são favoráveis em matéria de redução das perdas de água reais, fundamentalmente, se adequadas às características da rede.

A modulação simples consiste na forma mais básica de redução da pressão, visto que não pondera as variações do consumo total na rede. Posto isto, é aconselhada para zonas em que a variação diária do consumo tem uma amplitude reduzida.

As válvulas mais robustas possuem um controlador eletrónico, o qual possibilita a definição de mais do que dois patamares de pressão a jusante, adequadamente ajustados às variações do consumo ou da pressão na rede de abastecimento. A sua instalação proporciona a implementação de um sistema redutor com a modulação horária, a modulação pelo caudal ou a modulação pelo ponto crítico. Com o aumento do grau de complexidade do sistema redutor os custos são ampliados, porém os benefícios são, claramente, compensatórios. Atualmente, a modulações simples e horária são as mais utilizadas.

Uma vez que, o desenvolvimento de um projeto de implementação de uma VRP envolve um estudo hidráulico aprofundado, este é alcançado com a utilização de um *software* de modelação hidráulica.

Em termos mundiais verifica-se que parte das EG possui conhecimentos acerca da instalação de VRP, já que existe um considerável número de estudos acerca desta temática. Além disso, a IWA, em conjunto com outras organizações, tem vindo a definir a estratégia mais adequada para o combate às perdas reais. Deste modo, as VRP têm vindo a ser mais recentemente instaladas, sendo que, atualmente, já existem grandes instalações de válvulas em paralelo, como é o caso de África do Sul. Porém, o volume anual de perdas de água em termos mundiais é ainda muito elevado, o que revela uma reduzida eficiência por parte das EG. São os países em desenvolvimento os que mais contribuem para o elevado volume de água perdida, devido às deficientes infraestruturas das suas redes de abastecimento.

Em contrapartida, é importante referir que, com o desenvolvimento tecnológico, espera-se que as VRP sejam cada vez mais robustas e eficientes, garantindo melhores níveis de redução da pressão. Assim, será mais fácil a obtenção de melhores resultados em matéria de redução de perdas de água.

Em Portugal são poucas as EG que estão realmente preocupadas com a instalação de VRP, pela ausência de condições para a sua implementação, resultante de um desconhecimento acentuado da sua própria rede. Frequentemente, a ausência de um cadastro atualizado e de monitorização faz com que estas não tenham conhecimento do número de válvulas que possuem, da geometria da sua própria rede, bem como da gama de pressões e do padrão de consumo, sendo inviável a determinação das suas perdas de água. Deste grupo de EG fazem parte, essencialmente, as autarquias.

Outras EG, como é o caso da EPAL e da Águas do Porto, EM, seguem as orientações internacionais e também nacionais, nomeadamente pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Estas têm vindo a instalar VRP na sua rede e estão a planear novos projetos.

Em suma, a partir da pesquisa bibliográfica realizada, verifica-se que existem EG do setor do abastecimento de água a perder mais de 50% do seu produto durante o transporte, o que é inaceitável para qualquer empresa. Visto isto, é urgente a mudança nos padrões e controlo operacional dos SAA, devendo-se optar por uma estratégia de manutenção e não de substituição de infraestruturas, nomeadamente com a redução da pressão na rede. Assim, com uma gestão adequada dos sistemas de abastecimento conseguem-se benefícios económicos, ambientais, operacionais e sociais.

3

ÂMBITO E OBJETIVOS

3.1. ÂMBITO

Em virtude da pesquisa bibliográfica realizada, no âmbito desta dissertação, foi possível constatar que deverá ser objetivo prioritário a redução das perdas reais nos SAA, como garantia de uma gestão económica e técnica eficiente por parte das EG.

A ocorrência de fugas e roturas nas redes de abastecimento é inevitável, todavia é possível, em resultado de um controlo e monitorização suficientes, a sua redução substancial. A estratégia aplicada deve incidir na gestão da pressão na rede, em virtude da necessidade de escassos recursos financeiros e do alcance de rápidos e enormes benefícios, de natureza económica, ambiental e social.

Após um estudo e uma reestruturação da rede de abastecimento ao nível do direcionamento do escoamento de forma a equilibrar os níveis de pressão, a instalação de VRP consiste no método de controlo da pressão com maior viabilidade, em resultado da definição de uma pressão de jusante totalmente controlada e adaptada às necessidades de abastecimento da rede. Posto isto, a sua implementação visa a redução da pressão e da sua flutuação diária em todo o sistema.

Existem diversos tipos de sistemas redutores variando em função da modulação instalada, a saber: a modulação simples, a modulação horária, a modulação pelo caudal e a modulação pelo ponto crítico. Nas últimas, a utilização de controladores eletrónicos permite o ajuste da pressão de jusante às variações temporais do consumo e da pressão na rede de distribuição, originando resultados bem mais favoráveis quando comparando com sistemas redutores convencionais.

A presente dissertação realizou-se em ambiente empresarial na Águas do Porto, EM. Com vista ao estudo das modalidades de controlo de VRP, foi autorizado o uso do modelo hidráulico da ZMC de Fonte da Moura, como ponto de partida para a execução das simulações no *WaterGEMS*. Foi, igualmente, cedido o histórico das roturas existentes na subZMC da Avenida da Boavista, bem como os resultados alcançados, em virtude da implementação no terreno da modulação pelo ponto crítico.

3.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

De acordo com o exposto anteriormente, este trabalho tem como principal objetivo a avaliação da introdução de VRP na redução das perdas de água reais em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água e das suas diversas modalidades de controlo.

Visto isto, os objetivos parcelares são os seguintes:

- Estudar as modalidades de controlo das VRP, com recurso a um *software* de modelação hidráulica, o *WaterGEMS*, nomeadamente a modulação simples, a modulação horária, a modulação pelo caudal e a modulação pelo ponto crítico, utilizando neste estudo de caso a ZMC de Fonte da Moura;
- Avaliar o efeito provocado por cada modulação nas perdas de água reais;
- Extrapolar as simulações para outro tipo de EG, as quais detêm sistemas de monitorização insuficientes da sua rede, utilizando um padrão de consumo estimado;
- Analisar a influência da introdução de uma válvula na probabilidade de ocorrência de fugas e roturas, com a observação do histórico das reclamações decorrentes na subZMC da Avenida da Boavista;
- Avaliar a eficácia da modulação pelo ponto crítico com a sua instalação, pela primeira vez na Águas do Porto, EM, recorrendo a um e, numa segunda fase, a dois pontos críticos, considerando como objeto de estudo a VRP da Avenida da Boavista.

AVALIAÇÃO DAS MODALIDADES DE CONTROLO DE VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO – APLICAÇÃO A DUAS ZONAS DE MEDIÇÃO E CONTROLO

4.1. INTRODUÇÃO

A rede do SAA da cidade do Porto encontra-se subdividida em 19 ZMC, sendo a zona de Fonte da Moura objeto de estudo desta dissertação (ver Figura 4.1).

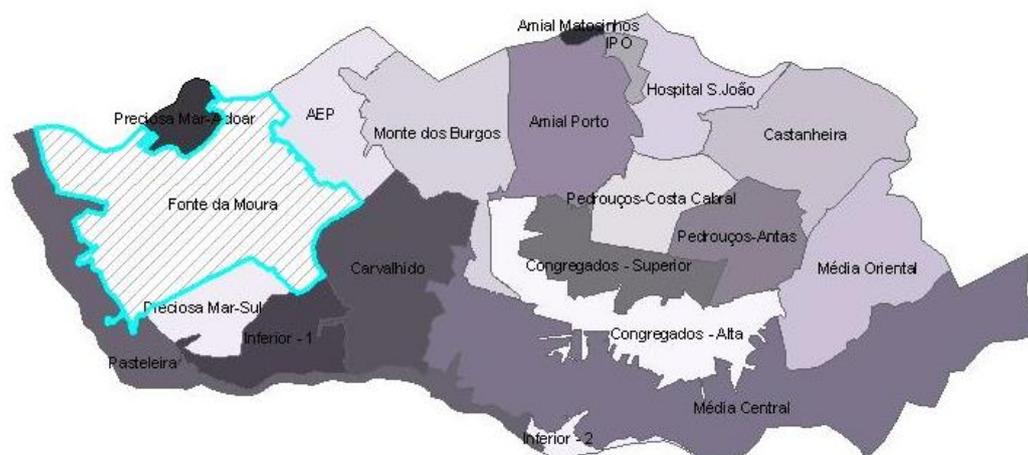


Fig.4. 1 – Localização de Fonte da Moura no SAA da cidade do Porto

Fonte da Moura faz fronteira com as ZMC Preciosa Mar-Aldoar, AEP, Carvalhido, Preciosa Mar-Sul, Inferior-1 e Pasteleira e está dividida em quatro subzonas, a saber: Avenida da Boavista, Jorge Reinel, Carlos Dubini e Amarante.

A ZMC perfaz uma área total de 5232 m² e serve um total de 14492 clientes, oriundos de um conjunto residencial diversificado, incluindo bairros de habitação social (Bairro de Fonte da Moura e Bairro de Campinas). No que respeita ao consumo médio desta zona este é correspondente a 8883 m³/dia.

O comprimento total da rede de abastecimento de Fonte da Moura é de, sensivelmente, 90 km. Esta é constituída, maioritariamente, por condutas em PEAD, seguindo-se o FC, o FFD e o FG. Porém, e com menor relevância, existem também condutas construídas em AC e FF.

Fonte da Moura é abastecida diretamente pela conduta adutora localizada na Estrada da Circunvalação, fazendo a interligação entre os sistemas em alta e em baixa. Devido à necessidade de redução da pressão da água que abastece a zona, a jusante do ponto de entrega existe uma VRP que opera, atualmente, segundo uma modulação horária.

Na rede de distribuição a redução da pressão é concretizada com a existência de duas válvulas, a VRP da Vilarinha e VRP da Avenida da Boavista, sucedendo esta última à criação de uma subZMC. A localização destas válvulas e as respetivas condutas da rede de abastecimento de água estão ilustradas na Figura 4.2.

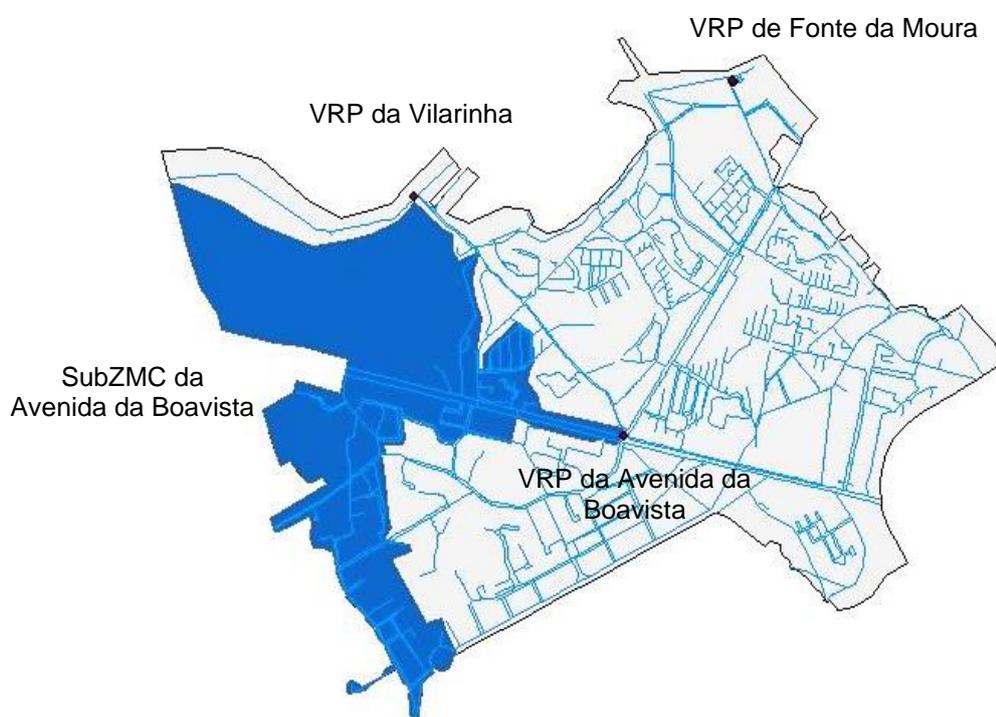


Fig.4. 2 – Representação das condutas da rede de abastecimento de água da ZMC de Fonte da Moura e localização das válvulas

A VRP da Avenida da Boavista operava segundo dois patamares de pressão, de 33 e 44 m.c.a., para os períodos de menor e maior consumo respetivamente. Já a VRP da Vilarinha está localizada na Estrada da Circunvalação, junto à Rua da Vilarinha, e funciona com uma modulação simples, em que a pressão de saída é fixada em 27 m.c.a.

4.2. CONCEÇÃO DO MODELO DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE FONTE DA MOURA

Com vista ao estudo da VRP existente no ponto de entrega de Fonte da Moura recorreu-se à modelação hidráulica, nomeadamente ao *WaterGEMS V8i select series 3*, um *software* da *Bentley*. Por conseguinte, foi indispensável a construção do modelo, no qual estão representados os nós, as condutas, as válvulas e o reservatório.

O modelo utilizado neste estudo foi elaborado no âmbito do Projeto Porto Sem Perdas, sendo as cotas, os consumos, as rugosidades, os diâmetros, os comprimentos e os materiais das condutas e acessórios introduzidos aquando da sua realização. Estes foram obtidos a partir do cadastro da Águas do Porto, EM, armazenados numa base de dados em *ArcGIS*. Note-se que as rugosidades inseridas são as fornecidas pela bibliografia, o que poderá não corresponder à realidade, como é o caso das condutas em FC que apresentam bastantes incrustações. Quanto às cotas introduzidas estas são as da superfície do terreno. Introduziram-se, da mesma forma, os consumos dos clientes, nomeadamente o volume consumido em cada nó e o padrão diário de consumo.

O modelo hidráulico utilizado nas simulações está exibido na Figura 4.3.

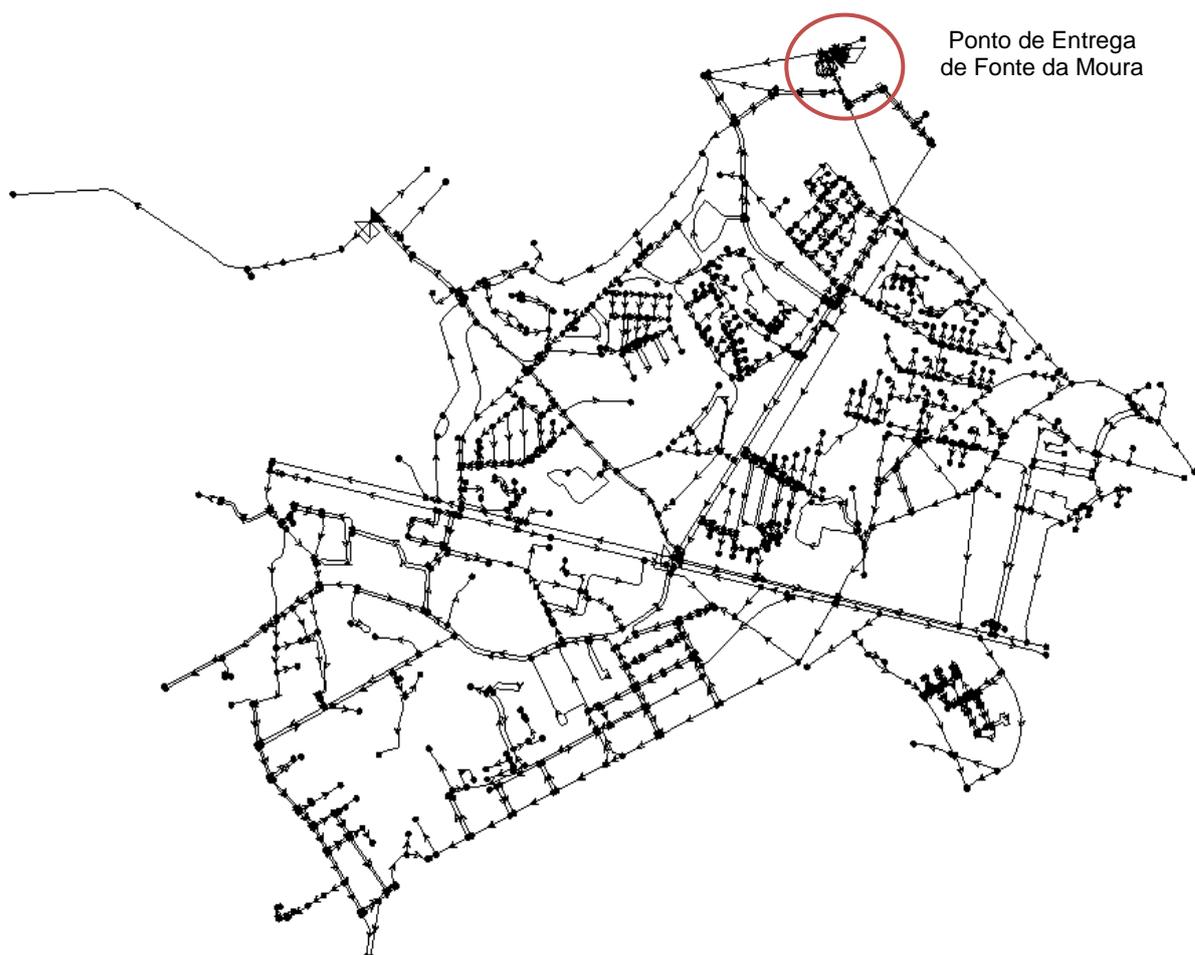


Fig.4. 3 – Modelo de simulação hidráulica da ZMC de Fonte da Moura (Miranda, A., 2012)

Para a realização dos vários cenários de otimização da válvula foi crucial a adaptação do modelo aos objetivos propostos. Assim, colocou-se um reservatório de superfície livre com uma cota de soleira de 500 m, que identifica a origem da água que abastece a zona na realização das simulações. A cota de soleira introduzida no modelo é apenas representativa, sendo deveras superior à existente no ponto de entrega de Fonte da Moura, como forma de compensação da altura piezométrica. Isto porque, a água num reservatório de superfície livre encontra-se à pressão atmosférica. De seguida, inseriram-se mais três VRP no ponto de entrega, paralelas entre si, como é visível na Figura 4.4.

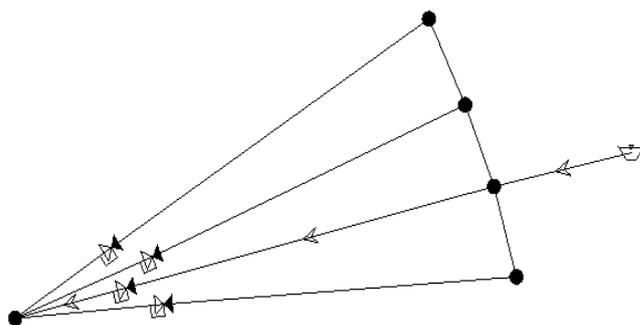


Fig.4. 4 – VRP em paralelo para a realização dos cenários referentes a cada simulação

No Quadro 4.1 estão presentes as especificações da VRP de Fonte da Moura introduzidas no modelo.

Quadro 4. 1 – Características da VRP de Fonte da Moura

VRP de Fonte da Moura	
Cota (m)	74,50
Diâmetro (mm)	152,4
Forma	Globo

Com isto foi possível definir inicialmente 4 cenários base para a realização deste estudo, os quais correspondem, individualmente, à modulação horária, modulação simples, modulação pelo caudal e modulação pelo ponto crítico. Todas estas simulações foram realizadas em regime estacionário, já que não foram consideradas as variações diárias e em tempo real no consumo e, conseqüentemente, na pressão. Tendo em conta o carácter estático das simulações, apenas foram introduzidos os consumos correspondentes ao período de tempo de um dia, considerando somente as suas variações horárias.

4.2.1. PADRÃO DO CONSUMO

O caudal de água que abastece Fonte da Moura situa-se na ordem dos 420 m³/h para a hora de maior consumo, a qual corresponde às 10,25 horas. Já a hora de menor consumo é aproximadamente às 3,75 horas, sendo o caudal de, em média, 128 m³/h. Estas fundamentações podem ser verificadas através do gráfico da Figura 4.5, alusivo à variação do caudal no ponto de entrega. Neste gráfico são visíveis os valores de caudal medidos e registados, em tempo real, pelo *data logger*, acoplado à VRP, e transmitidos por telegestão à sede da Águas do Porto, EM. A linha azul corresponde à média das medições realizadas, em resultado da calibração por parte do *software*, sendo estes os valores utilizados para a execução das simulações.

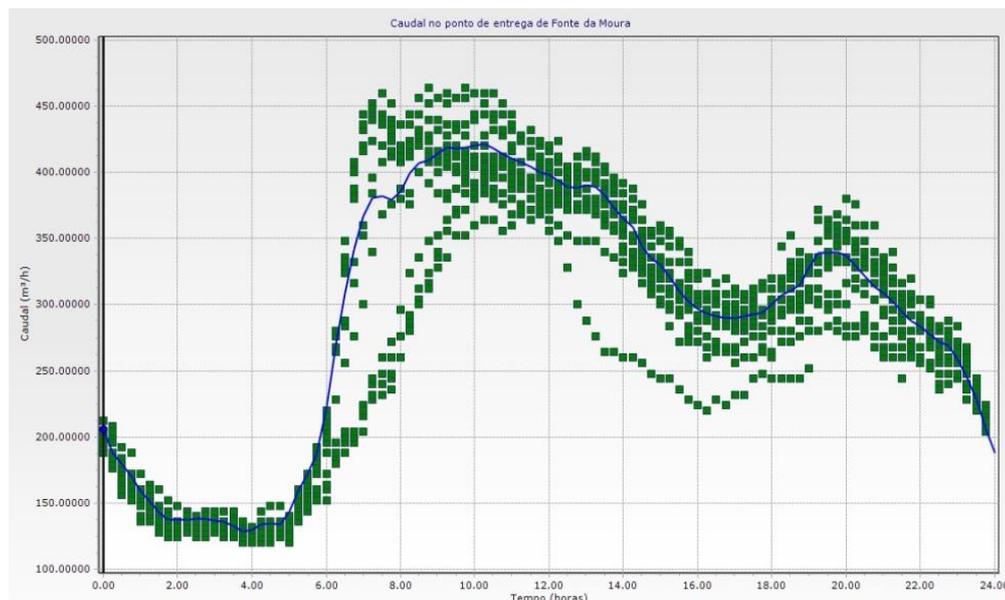


Fig.4. 5 – Variação diária do caudal no ponto de entrega de Fonte da Moura

4.2.2. DETERMINAÇÃO DO PONTO CRÍTICO

Quando se pretende instalar ou otimizar uma VRP torna-se imperativo determinar o ponto crítico do subsistema, ou seja, o local onde a pressão toma os valores mais baixos. Em virtude da obrigatoriedade de um abastecimento de água contínuo e suficiente a todos os edifícios.

Inicialmente, fez-se uma análise das cotas do terreno dos vários nós da rede de abastecimento, já que valores mais elevados originam pressões inferiores. De seguida, através do cadastro das Águas do Porto, EM, determinaram-se os edifícios com totalizador, o qual tem como função somar o consumo dos contadores das várias habitações. A sua existência é uma condição obrigatória para que estes possuam um abastecimento predial indireto com a utilização de cisterna. Contudo, o facto de o edifício possuir totalizador não significa obrigatoriamente que estes possuem cisterna, como é o caso das casas geminadas. Tendo isto em consideração, tornou-se necessário consultar os projetos de licenciamento dos edifícios com totalizador que, pela sua estrutura, idade ou número de patamares, eram duvidosos no que confere à existência de cisterna.

Deste modo, excluíram-se do cumprimento da pressão mínima exigida, segundo o Decreto Regulamentar nº23/95 de 23 de agosto, os edifícios com cisterna. Para os restantes casos calculou-se a pressão mínima regulamentar, considerando o número de pisos. É importante referir que, apesar do Decreto Regulamentar admitir valores inferiores a 20 m.c.a., são recomendadas pressões superiores para que sejam garantidos o conforto e a segurança.

Esta etapa é de extrema importância, dado que um edifício com cêrcea elevada e com projeto de licenciamento da rede predial aprovado com abastecimento direto poderá inviabilizar a implementação de uma VRP.

No Quadro 4.2 estão expostos os nós mais críticos da rede de abastecimento, considerando as suas cotas.

Quadro 4. 2 – Características dos nós mais críticos de Fonte da Moura

Nó	Arruamento	Atividade do Edifício	Cota	Número de pisos	Pressão mínima (m.c.a.)	Cisterna
1612, 1603, 1604, 1591, 1331, 2194	Rua António Silva Marinho	Armazém	76,62	2	18	Sem cisterna
1609	Rua António Silva Marinho	Comércio	76,38	2	18	Sem cisterna
1599	Rua António Silva Marinho	Habitação	75,83	3	22	Sem cisterna
2284	Estrada da Circunvalação	Armazém	75,21	2	18	Sem cisterna
559	Rua Dr. Pedro Sousa	Comércio e Habitação	75,00	5	30	Com cisterna
CircPr	Estrada da Circunvalação	Comércio	74,79	2	18	Sem cisterna
296	Avenida Dr. Antunes Guimarães	Comércio e Habitação	74,69	4	22	Sem cisterna
307	Rua Pereiró	Comércio e Habitação	74,57	5	30	Com cisterna
207	Rua da Preciosa	Habitação	74,34	3	22	Sem cisterna
1005	Rua Pereiró	Comércio	74,10	2	18	Sem cisterna
209	Rua da Preciosa	Habitação	74,08	2	18	Sem cisterna
282	Avenida Dr. Antunes Guimarães	Habitação	74,08	2	18	Sem cisterna

A partir do Quadro 4.2 depreende-se que é na Rua António Silva Marinho que são apuradas as pressões mais baixas, já que este trecho de rede situa-se a cotas mais elevadas. Logo, como no nó 1599 existe um conjunto de habitações sem cisterna e com três pisos este foi considerado como o ponto crítico para a realização deste estudo.

Nas Figuras 4.6, 4.7 e 4.8 estão representados os nós presentes no Quadro 4.2.

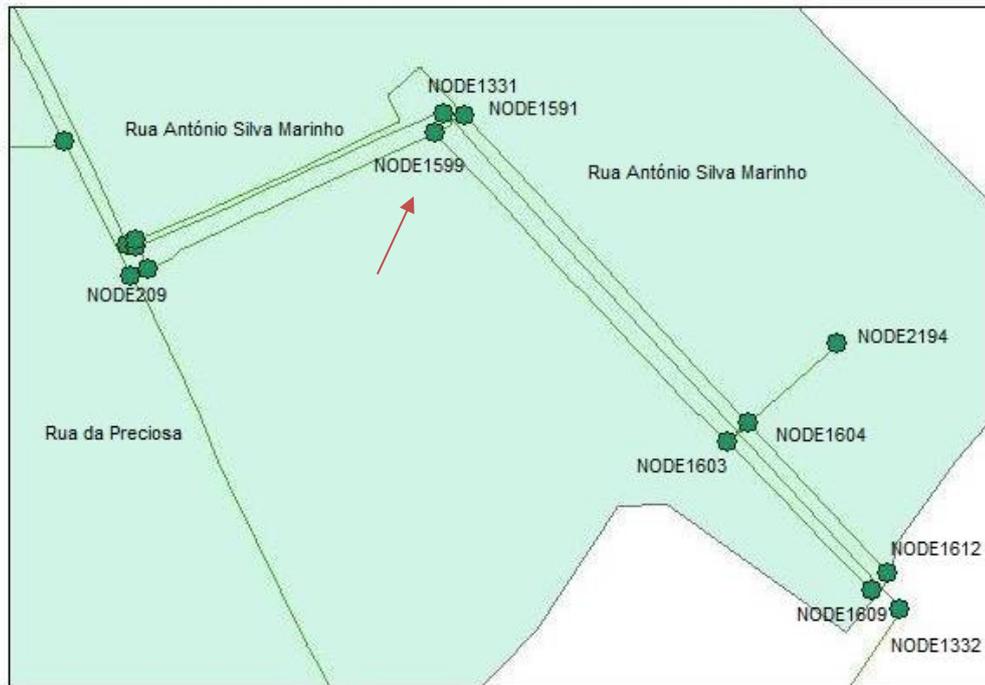


Fig.4. 6 – Nós críticos em Fonte da Moura localizados na Rua António Silva Marinho

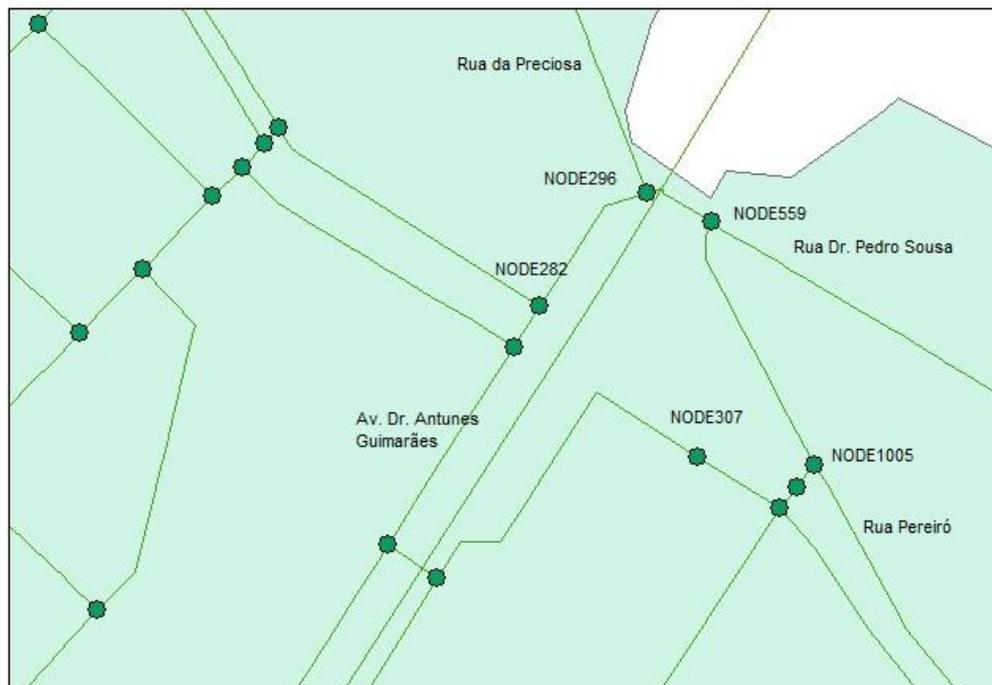


Fig.4. 7 – Nós críticos em Fonte da Moura localizados na Avenida Dr. Antunes Guimarães; Rua Dr. Pedro Sousa; Rua Pereiró e Rua da Preciosa

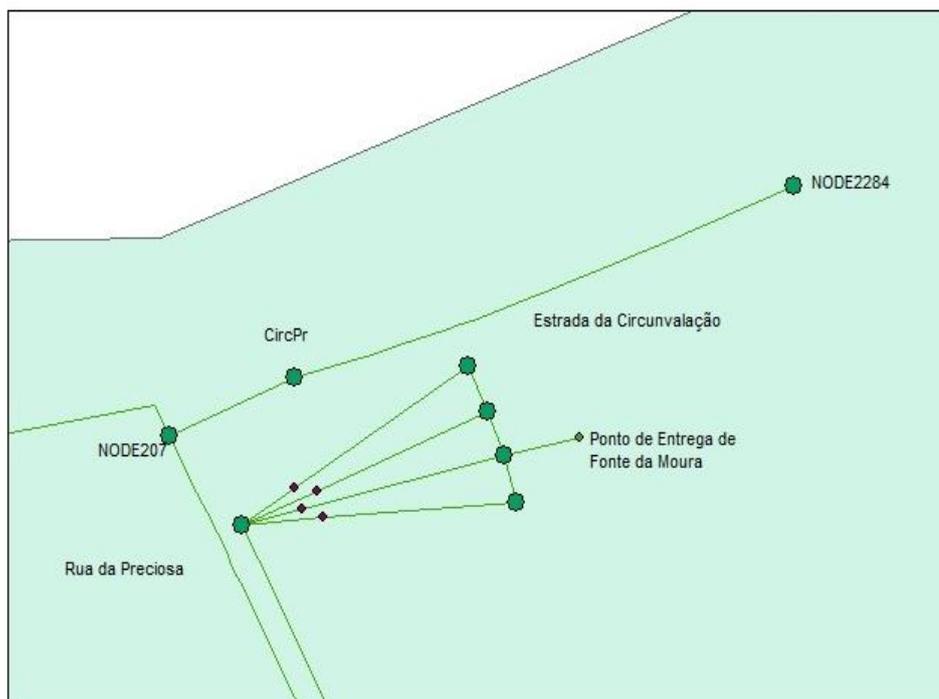


Fig.4. 8 – Nós críticos em Fonte da Moura localizados na Estrada da Circunvalação e Rua da Preciosa

4.3. ESTUDO DA VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO DO PONTO DE ENTREGA DE FONTE DA MOURA

A presente dissertação foca-se no estudo do funcionamento de uma VRP, nomeadamente da modulação aplicada, bem como da sua influência na redução das perdas de água reais e na minimização da probabilidade de ocorrência de fugas e roturas na rede de abastecimento. Em virtude, foi objeto de estudo a válvula localizada no ponto de entrega de Fonte da Moura.

Deste modo, no modelo hidráulico realizou-se um conjunto de cenários alusivos a cada tipo de modulação, permitindo apurar qual a mais vantajosa, no que se refere à redução da pressão e da sua flutuação. Com isto foi possível tirar ilações sobre o sistema redutor que produz menores prejuízos ambientais, financeiros e sociais e que, assim, é passível de originar a substituição da modulação em vigor.

4.3.1. MODULAÇÃO HORÁRIA

A VRP de Fonte da Moura possui uma modulação horária, conseguida através da existência de um controlador eletrónico, no qual foi programada, para cada hora, a pressão à saída da VRP. Os patamares de pressão definidos no equipamento estão presentes no Quadro 4.3.

Quadro 4. 3 – Patamares de pressão definidos no controlador da VRP de Fonte da Moura para a modulação horária

Horas	Pressão (m.c.a.)
[1; 5]	23,0
6	32,0
7	42,0
[8; 14]	47,0
[15; 21]	42,0
[22; 23]	37,0
24	27,0

Tendo em consideração os valores expostos no Quadro 4.3 depreende-se que foram configurados no controlador da VRP valores de pressão superiores para o período horário em que o consumo é máximo, o qual se situa entre as 8 e as 14 horas. Para este período definiu-se uma pressão à saída da válvula de 47,0 m.c.a., a qual decresce até às 5 horas, atingindo valores de pressão de 23 m.c.a.

Com os valores presentes no Quadro 5.3 e considerando uma pressão máxima de jusante de 47 m.c.a., foi possível o cálculo do fator horário multiplicativo, de acordo com a expressão matemática 4.1:

$$P_{\text{jusante}} = \Delta H_v \times f \quad (4.1)$$

Em que:

P_{jusante} = Pressão à saída da válvula (m.c.a.);

ΔH_v = Perda de carga hidráulica induzida pela válvula (m.c.a.);

f = Fator horário multiplicativo.

Com o fator horário multiplicativo procedeu-se à simulação do atual funcionamento da VRP de Fonte da Moura. Estes valores estão presentes no Anexo A desta dissertação e no gráfico da Figura 4.9 está exposta a sua variação diária.

No gráfico da Figura 4.10 está representada a pressão à saída da válvula, obtida a partir do *data logger*.



Fig.4. 9 – Padrão horário utilizado para a modulação horária da VRP de Fonte da Moura

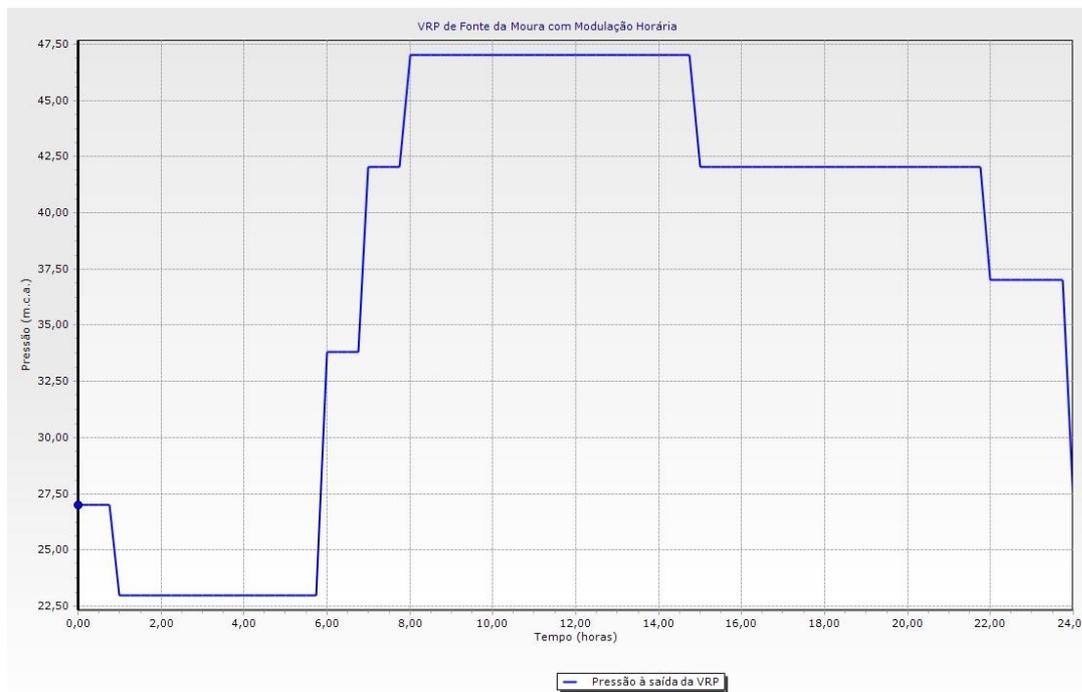


Fig.4. 10 – Pressão à saída da VRP de Fonte da Moura com modulação horária

Mediante o gráfico da Figura 4.10 constata-se que a pressão para o período de menor consumo é consideravelmente inferior à pressão para as horas de maior consumo. Consequentemente, a pressão flutua entre 22,99 e 47,02 m.c.a. ao longo do dia. Averigua-se, pelo gráfico, que é no período de maior consumo que é verificada a maior pressão à saída da válvula. Assim, é entre as 8 e as 14,75 horas que se identifica o patamar mais elevado de pressão de jusante.

Na Figura 4.11 estão representados os resultados obtidos para os valores de pressão no ponto crítico, bem como o respetivo consumo.

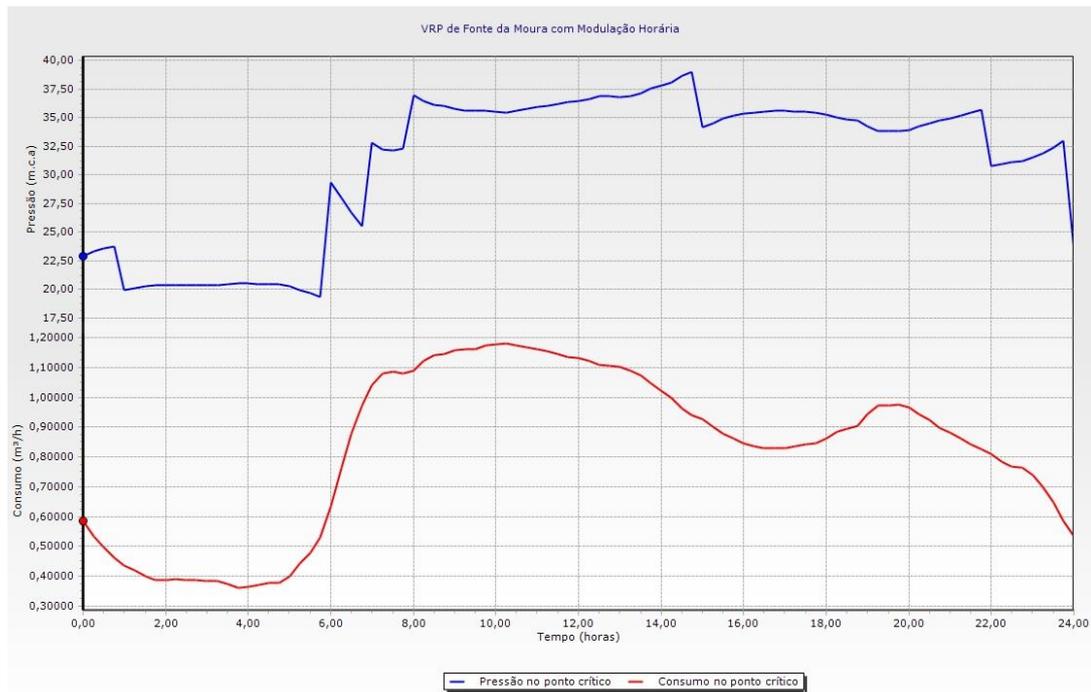


Fig.4. 11 – VRP de Fonte da Moura com modulação horária

A partir do gráfico da Figura 4.11 verifica-se que a pressão no ponto crítico não é sempre superior ao limite mínimo exigido pelo regulamento, o qual corresponde a 22 m.c.a. Porém, isto verifica-se apenas para o período de menor consumo, não constituindo uma situação problemática. Às 5,75 horas é registado o valor mais baixo de pressão, sendo este de 19,38 m.c.a. O valor mais elevado de pressão situa-se às 14,75 horas, o qual corresponde a 39,01 m.c.a. No entanto, para as horas de maior consumo a pressão é constantemente superior à pressão mínima exigida pelo regulamento no ponto crítico.

Tendo por base estas constatações verifica-se que a modulação horária não acompanha as variações do consumo na rede, devido ao seu carácter estático. Contudo, a redefinição dos patamares de pressão à saída da válvula, absolutamente adaptados aos horários de consumo, permite a obtenção de melhores resultados. A modulação simples é apropriada somente para zonas com pressão noturna excessiva e hábitos de consumo regulares ao longo de vários dias.

É crucial a redução da pressão no período diurno. Esta medida proporciona a diminuição da probabilidade de ocorrência de avarias na rede de abastecimento, sendo aumentado o tempo de vida útil das condutas, ramais e acessórios, acompanhada com a redução do volume de água perdida.

4.3.2. MODULAÇÃO SIMPLES

Neste estudo foi simulada a modulação simples, já que corresponde ao funcionamento elementar de uma VRP, isto porque a pressão à saída da válvula é fixa, independentemente das solicitações da rede.

Como a válvula de Fonte da Moura possui uma modulação horária, a modulação simples apenas é aplicada caso exista alguma avaria por parte do sistema reductor.

Nesta simulação considerou-se a pressão à saída da válvula de 47 m.c.a., independentemente das variações diárias do consumo total na rede. Este valor corresponde ao patamar de pressão de jusante

mais elevado da modulação horária em vigor, dado que a modulação horária consiste numa otimização da modulação simples.

Na Figura 4.12 está representado o gráfico com os resultados obtidos, relativos à pressão e ao consumo no ponto crítico com a implementação da modulação simples.

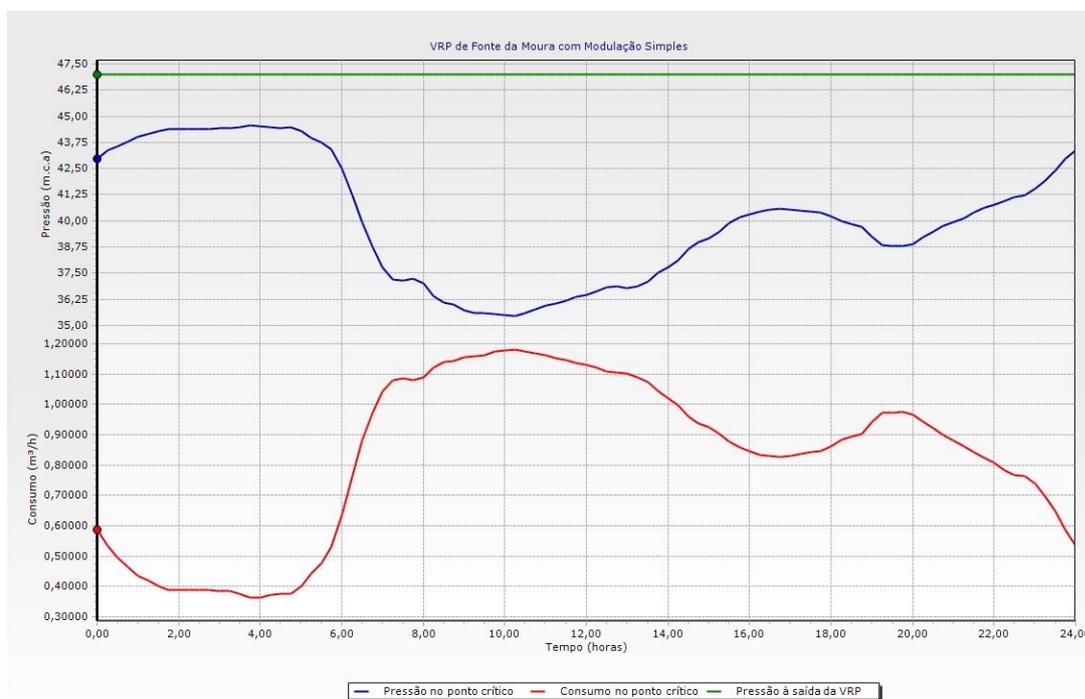


Fig.4. 12 – VRP de Fonte da Moura com modulação simples

Através da Figura 4.12 averigua-se que a curva referente à pressão é o inverso da curva alusiva ao consumo no ponto crítico, devido à inexistência de um controlador capaz de fazer variar a pressão à saída da VRP em função do consumo na rede de abastecimento. Por conseguinte, constata-se que a pressão atinge os menores valores durante o período de maior consumo e, em contrapartida, é nas horas de menor consumo que a pressão é mais elevada.

A pressão alcança valores de 44,56 m.c.a. no período noturno (horas de menor consumo) e para as horas mais críticas, em que o consumo é maior, a pressão é de 35,45 m.c.a. Verifica-se, assim, que desta modulação são oriundos valores, excessivamente, elevados de pressão, o que é desvantajoso. Igualmente, existe uma variação de pressão sensivelmente elevada ao longo do dia, a qual corresponde a 9,11 m.c.a, devendo ser reduzida para a manutenção do bom estado das infraestruturas.

Todavia, os resultados obtidos, apesar de insatisfatórios, são os expetáveis, dado que a pressão de jusante é fixa. A modulação simples é aconselhada para zonas com uma variação diária do consumo com amplitude reduzida e com uma pequena perda de carga, a qual é alcançada em zonas menos extensas.

4.3.3. MODULAÇÃO PELO CAUDAL

Um dos objetivos desta dissertação foi o estudo da modulação pelo caudal da VRP de Fonte da Moura. Deste modo, utilizando uma aplicação do *WaterGEMS* foram criados os controlos para o funcionamento da válvula. Com vista à sua realização, foram definidos intervalos para o caudal no ponto de entrega, sendo que a cada um destes corresponde um determinado valor de pressão à saída da válvula. De acordo com o regulamento realizou-se a modulação da válvula numa tentativa de aproximação da pressão no ponto crítico a 22 m.c.a. Consequentemente, as condições impostas para o funcionamento da VRP foram definidas tendo em consideração a preservação de uma pressão sensivelmente constante, ao longo do dia no ponto crítico. Estas estão representadas no Quadro 4.4.

Quadro 4. 4 – Condições e ações impostas ao controlador para o controlo da VRP de Fonte da Moura modulada pelo caudal

Caudal (m ³ /h)	Pressão à saída (m.c.a.)
100 m ³ /h < Q ≤ 120 m ³ /h	23,5
120 m ³ /h < Q ≤ 130 m ³ /h	25,0
130 m ³ /h < Q ≤ 150 m ³ /h	25,5
150 m ³ /h < Q ≤ 180 m ³ /h	26,0
180 m ³ /h < Q ≤ 210 m ³ /h	27,0
210 m ³ /h < Q ≤ 260 m ³ /h	28,5
260 m ³ /h < Q ≤ 270 m ³ /h	29,0
270 m ³ /h < Q ≤ 300 m ³ /h	30,0
300 m ³ /h < Q ≤ 330 m ³ /h	30,5
330 m ³ /h < Q ≤ 360 m ³ /h	32,0
360 m ³ /h < Q ≤ 370 m ³ /h	32,5
370 m ³ /h < Q ≤ 380 m ³ /h	33,0
380 m ³ /h < Q ≤ 390 m ³ /h	33,5
390 m ³ /h < Q ≤ 410 m ³ /h	35,0

De acordo com o Quadro 4.4 verifica-se o aumento da pressão à saída da VRP em concordância com o incremento no caudal de água afluente à ZMC. Em virtude verifica-se que este sistema redutor apresenta maior fiabilidade e flexibilidade funcional.

Por conseguinte, as ações estabelecidas para a atividade da válvula são função do consumo na zona. A pressão à saída da VRP oscila entre 23,5 e 35,0 m.c.a., para valores de caudal situados entre 100 e 120 m³/h e entre 390 e 410 m³/h, correspondentemente.

A pressão à saída da VRP está representada na Figura 4.13.



Fig.4. 13 – Pressão à saída da VPR de Fonte da Moura com modulação pelo caudal

Em função dos controlos definidos na VPR esta ajusta a perda de carga induzida ao escoamento, aumentando ou diminuindo a pressão à saída da válvula. Segundo os resultados presentes no gráfico da Figura 5.13 constata-se que a pressão à saída da VPR é máxima entre as 8,28 e as 12,50 horas, a qual corresponde a 35,01 m.c.a. O segundo patamar de pressão mais elevado situa-se entre as 19,28 e as 20,25 horas, sendo este de 32,01 m.c.a. Os resultados obtidos para esta simulação, nomeadamente em termos de consumo e pressão no ponto crítico, estão representados na Figura 4.14.

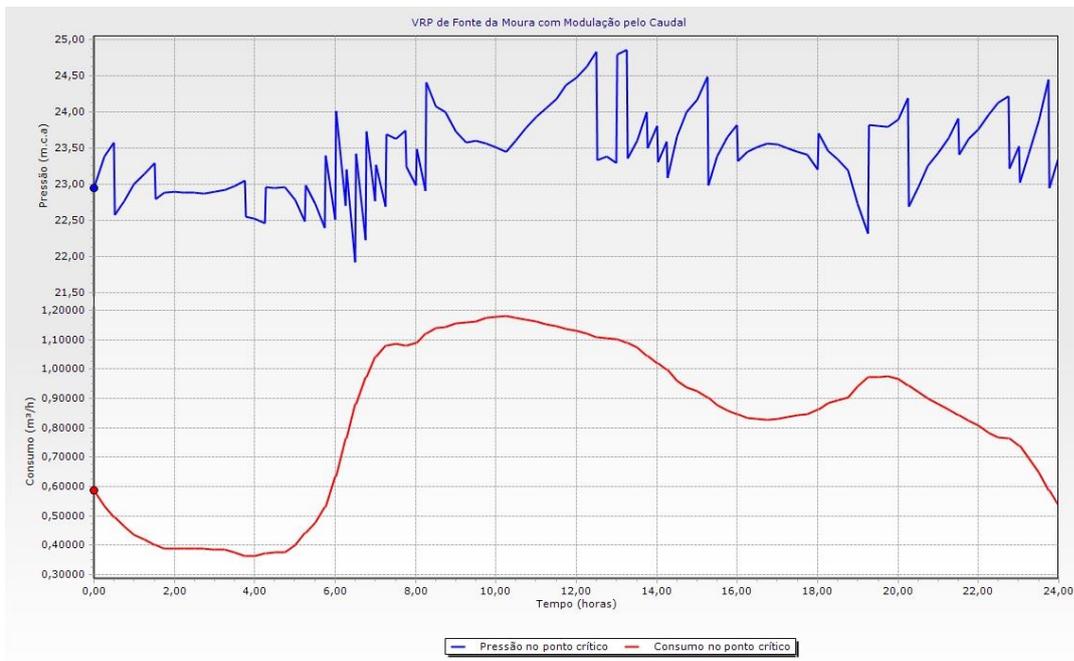


Fig.4. 14 – VPR de Fonte da Moura modulada pelo caudal

A VRP foi simulada para uma pressão máxima de jusante de 27 m.c.a., já que valores inferiores não garantem o cumprimento da pressão mínima regulamentar para várias horas do dia. Porém, constata-se, pela análise do gráfico da Figura 4.14 que, para as 6,5 horas a pressão no ponto crítico é de 21,93 m.c.a. A solução que permite o aumento deste valor passa pelo incremento da pressão máxima de jusante. Todavia, isto faz com que a pressão aumente ao longo de todo o dia tornando-se bastante excessiva, essencialmente para o período de menor consumo. Para as horas de menor consumo verifica-se que a pressão máxima é de 24,84 m.c.a.

4.3.4. MODULAÇÃO PELO PONTO CRÍTICO

A modulação pelo ponto crítico consiste na medição, registo e posterior encaminhamento, em tempo real, dos valores de pressão medidos no ponto mais crítico da ZMC até ao controlador da válvula, a qual, seguidamente, é acionada em função das indicações recebidas, realizando a redução da pressão.

Devido à impossibilidade de conexão entre o *data logger* inserido na rede e o *software*, para a concretização da simulação foi realizado um padrão horário, tendo sido definidos fatores horários multiplicativos para intervalos de tempo de 15 minutos, perfazendo as 24 horas. Estes foram determinados considerando a pressão no ponto crítico constante e próxima de 22 m.c.a., estando compreendidos entre 0,0 e 1,0. De acordo com a expressão matemática 4.1 é determinada a pressão à saída da válvula, para cada instante de tempo, considerando os respetivos fatores horários multiplicativos e uma pressão máxima de jusante de 34 m.c.a. É inviável uma pressão máxima de jusante inferior à estabelecida no *software*, uma vez que não é garantida a pressão mínima regulamentar.

Na Figura 4.15 está representado o padrão horário utilizado para a modulação pelo ponto crítico. Os respetivos fatores horários multiplicativos estão presentes no Anexo B desta dissertação.

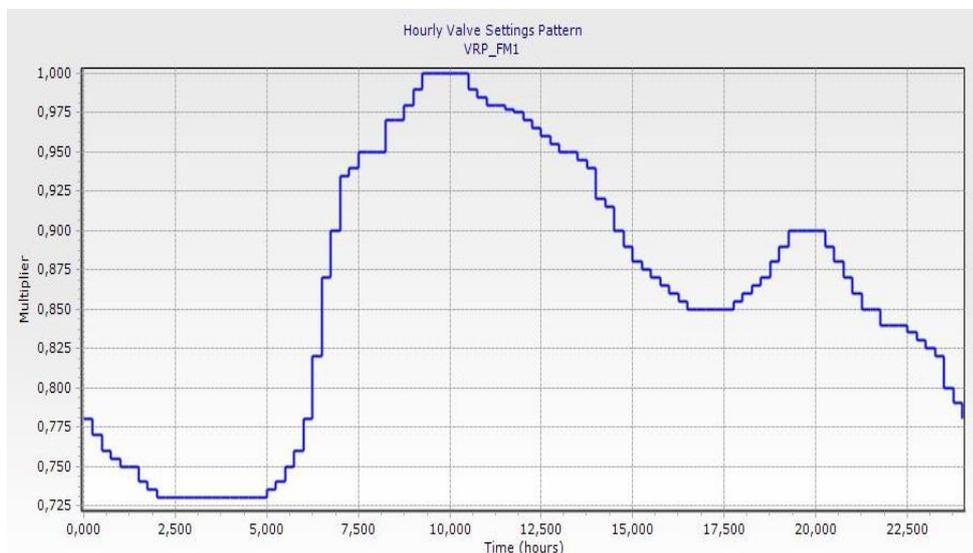


Fig.4. 15 – Padrão horário utilizado para a modulação pelo ponto crítico da VRP de Fonte da Moura

Mediante o gráfico da Figura 4.15 constata-se que os fatores horários multiplicativos possuem um padrão que se assemelha ao do consumo em Fonte da Moura, já que estes foram determinados considerando a variação da pressão ao longo do dia função do consumo requerido. Para o período de maior consumo o fator horário multiplicativo atinge o maior valor, sendo igual a 1,0. Nos gráficos das

Figuras 4.16 e 4.17 é possível visualizar a variação da pressão à saída da válvula, a variação diária da pressão e o consumo no ponto crítico em resultado da aplicação da modulação.

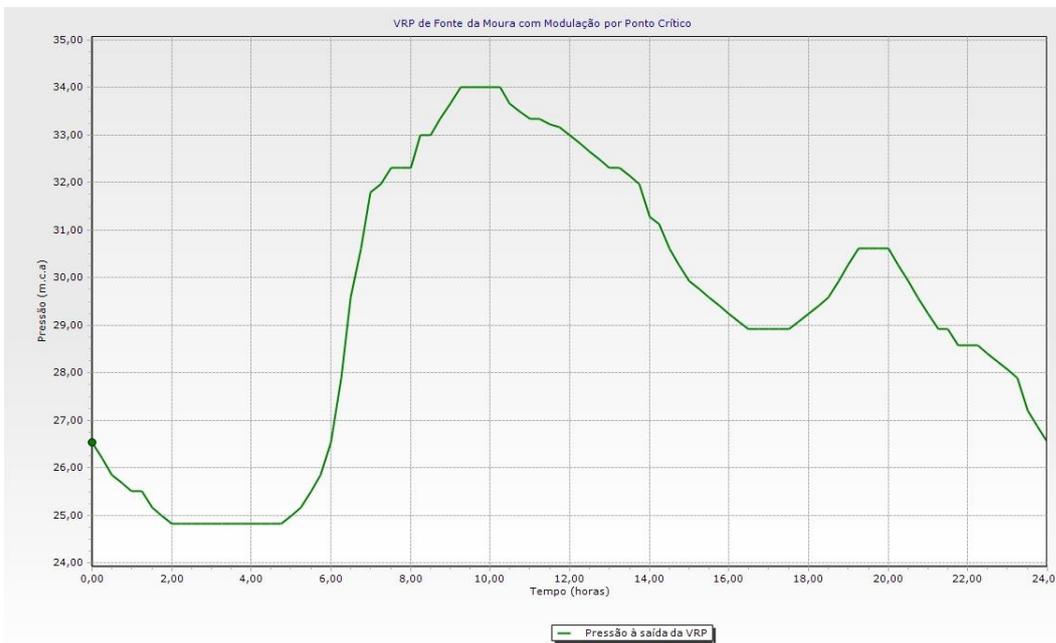


Fig.4. 16 – Pressão à saída da VPR de Fonte da Moura com modulação pelo ponto crítico

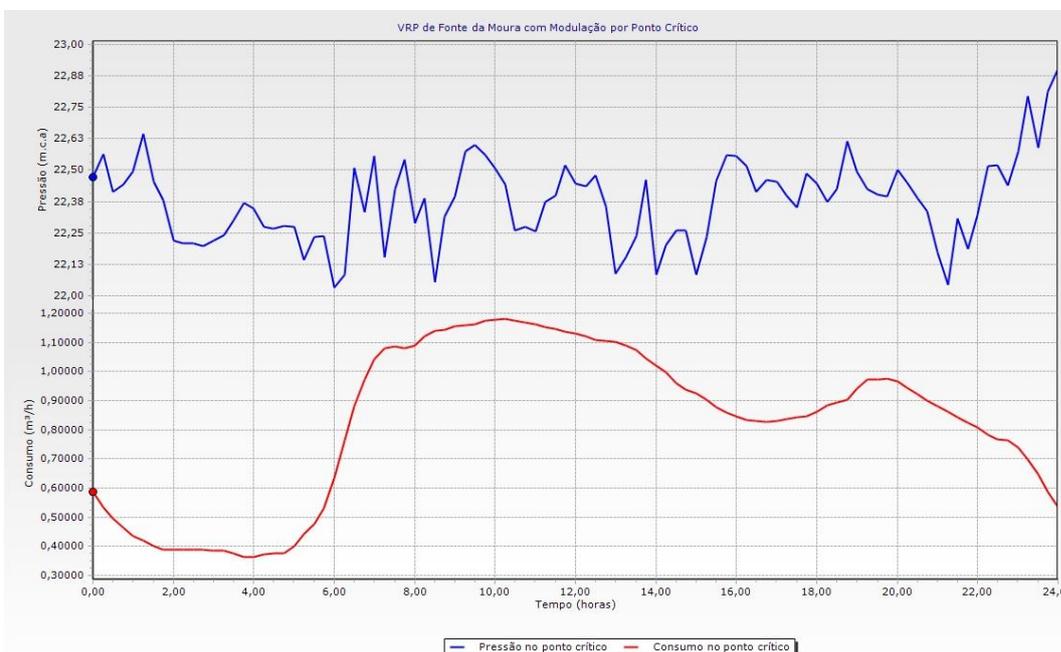


Fig.4. 17 – VPR de Fonte da Moura com modulação pelo ponto crítico

Relativamente ao gráfico da Figura 4.16 verifica-se que a simulação efetuada considerou a existência dos dois picos de maior consumo, visto que a pressão à saída da válvula é função deste. Consequentemente, foram considerados dois patamares superiores de pressão a jusante, entre as 9,25 e as 10,25 horas e entre as 19,25 e as 20 horas, os quais correspondem a 34,01 e 30,61 m.c.a. Para o

período de menor consumo, ou seja, entre as 2 e as 4,75 horas, a pressão à saída da VRP corresponde a 24,83 m.c.a.

De acordo com a Figura 4.17 constata-se que a pressão no ponto crítico varia entre 22,03 e 22,90 m.c.a., sensivelmente, o que consiste numa variação extremamente reduzida, tal como seria expectável neste tipo de modulação. Isto porque, a VRP é obrigada, pelo controlador, a manter a pressão no ponto crítico nas proximidades do valor regulamentar. Verifica-se que a pressão no ponto crítico é continuamente superior 22 m.c.a., valor este imposto legalmente.

A redução da flutuação da pressão proporciona pela modulação pelo ponto crítico consiste na sua principal vantagem, em virtude da diminuição do desgaste transversal das condutas, permitindo o aumento da durabilidade das infraestruturas e a minimização das perdas de água reais.

4.3.5. ANÁLISE COMPARATIVA

Posteriormente à concretização dos vários cenários é imprescindível a realização de uma análise comparativa sobre as diferentes modulações simuladas, de acordo com o gráfico da Figura 4.18. É importante salientar que, todas as modulações possuem benefícios e inconvenientes, contudo quando corretamente adaptadas às características da rede de distribuição é passível obter o seu maior proveito.

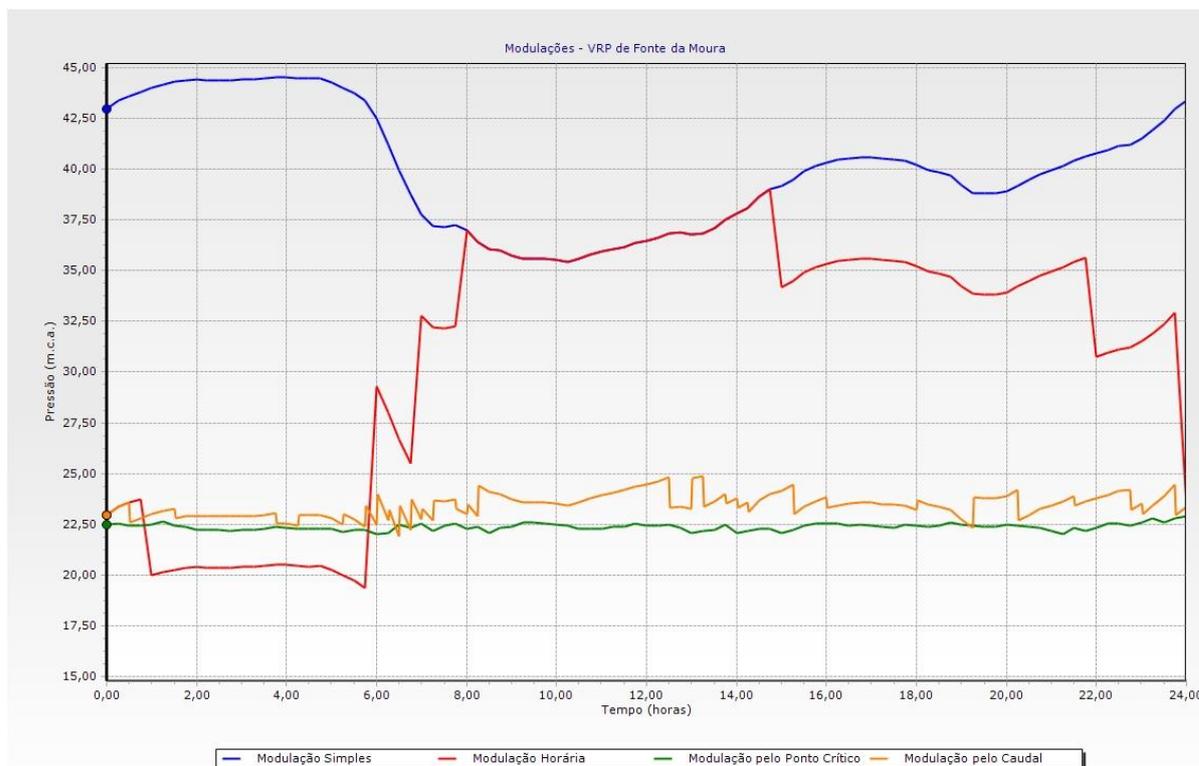


Fig.4. 18 – Pressão no ponto crítico para as modulações estudadas da VRP de Fonte da Moura

Neste estudo verifica-se o cumprimento do requisito legal relativo à oscilação da pressão ao longo do dia, isto porque esta é permanentemente inferior a 30 m.c.a. em todas as modulações simuladas.

A modulação pelo ponto crítico é a que permite uma maior conservação da pressão, já que a sua flutuação diária é praticamente nula. Em concordância, este tipo de sistema redutor proporciona uma menor probabilidade de ocorrência de fugas e roturas na rede de abastecimento, em virtude da obtenção de valores de pressão mais reduzidos, essencialmente, durante as horas de menor consumo, e, igualmente, mais estáveis. Tendo isto em consideração, é a modulação pelo ponto crítico a metodologia de funcionamento que permite resultados mais satisfatórios, dado que são estimados menores volumes de água perdida, constituindo poupanças de carácter económico-financeiro, ambiental e social.

A implementação da modulação pelo ponto crítico em Fonte da Moura exige um investimento apreciável, com a aquisição de um sistema de monitorização, constituído por um *data logger* e um controlador eletrónico com capacidade para a receção dos dados. Em resultado da sua implementação estão inerentes custos de manutenção e operação, como consequência do rápido desgaste da bateria do *data logger* pelo encaminhamento permanente das pressões medidas, e devido à danificação do obturador da válvula derivado do seu constante movimento descendente e ascendente. Igualmente, esta modulação exige um maior suporte técnico de manutenção, já que uma pequena falha por parte do *data logger* inviabiliza todo o sistema.

A modulação pelo ponto crítico tem como desvantagem o aumento do volume de água perdida através das fugas invisíveis, já que a redução da pressão na rede dificulta o seu afloramento até à superfície e, assim, a sua rápida deteção. Posto isto, deverá ser aumentado o CAP na ZMC. Uma vez que o aumento do volume de fugas na rede proporciona a diminuição da pressão, a válvula tende a aumentar a pressão de jusante, contribuindo para o aumento do caudal de água perdida.

Uma outra solução passa pela otimização da modulação horária atualmente existente, com a reconfiguração de um maior número de patamares de pressão à saída da válvula. Todavia, é importante que estes acautelem as variações do consumo e da pressão na rede. Igualmente, é importante referir que a modulação horária não acompanha as variações de caudal, detendo uma baixa resposta para caudais elevados. A sua implementação deve ser acompanhada de um bom conhecimento do perfil das pressões, do histórico dos consumos e da geometria da rede.

Na modulação simples a pressão noturna é extremamente elevada no ponto crítico. Assim, é previsível que, em outros pontos da rede de distribuição, a pressão seja consideravelmente elevada e superior ao limite máximo imposto pelo regulamento de 60 m.c.a. Igualmente, é na modulação simples que é alcançada a maior flutuação diária. Em consequência, nesta subsiste uma maior probabilidade de ocorrência de fugas e roturas na rede de abastecimento.

A modulação simples não tem acoplado um controlador eletrónico e, por conseguinte, não pondera variações diárias do consumo total na rede. Como consequência, perante caudais elevados em períodos de baixas pressões o sistema redutor apresenta uma baixa capacidade de resposta.

Relativamente à modulação pelo caudal esta é vantajosa para zonas com consumos irregulares, devido a fatores como a sazonalidade, tipo de população e tipo de uso. Neste estudo, verifica-se alguma instabilidade da pressão no ponto crítico, contudo a pressão é relativamente reduzida. A instalação da modulação pelo caudal tem a desvantagem de proporcionar o aumento do volume de fugas, já que estas contribuem para o aumento do consumo total da rede. Por conseguinte, a válvula tende a diminuir a perda de carga induzida ao escoamento, fazendo aumentar a pressão de jusante e, conseqüentemente, o volume de água perdida.

Nas Figuras 4.19, 4.20, 4.21 e 4.22 é possível verificar o efeito de cada modulação da VRP para a hora de menor consumo e maior pressão, a qual corresponde às 3,75 horas, isto porque é o período do dia em que se torna mais importante realizar a sua redução.

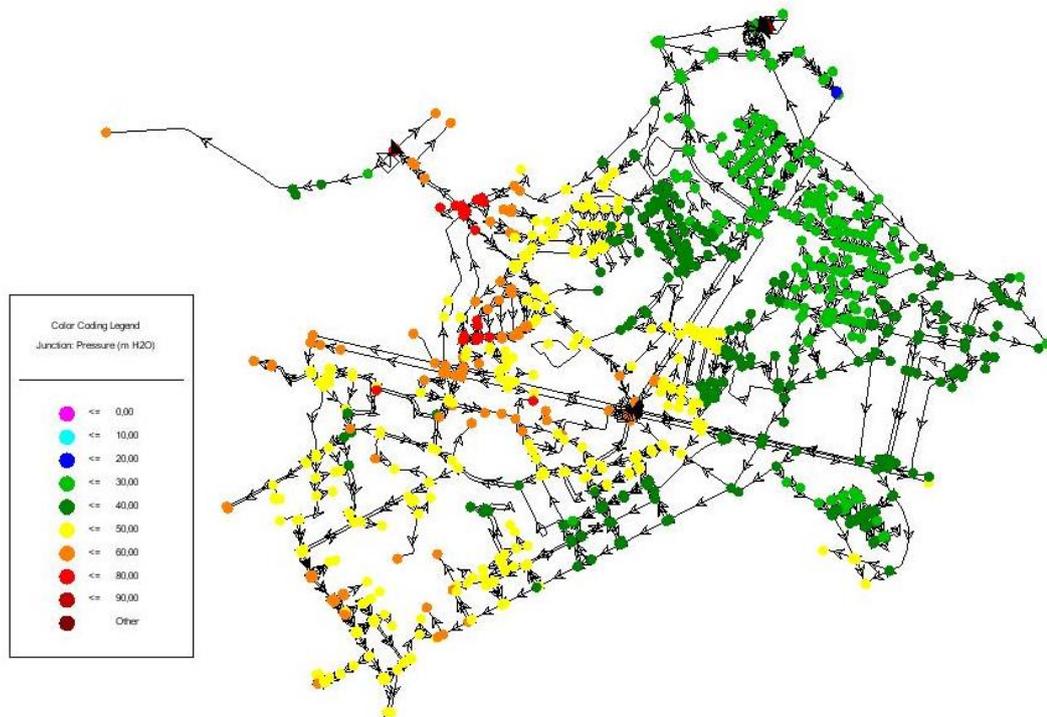


Fig.4. 19 – Pressão nos nós da rede de abastecimento de água para as 3,75 horas com a VRP a operar com modulação horária

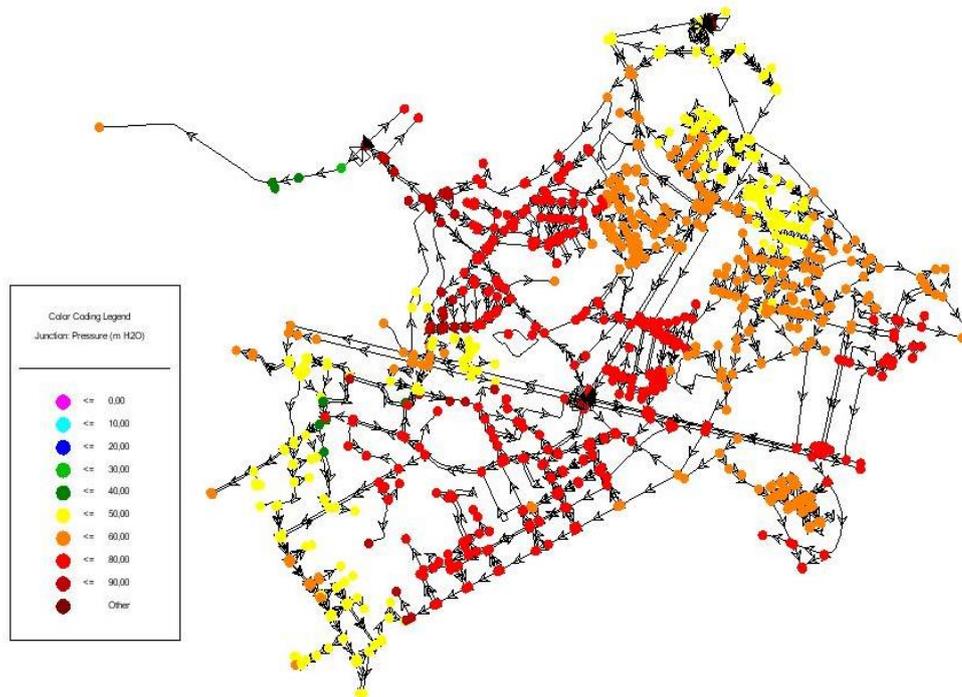


Fig.4. 20 – Pressão nos nós da rede de abastecimento de água para as 3,75 horas com a VRP a operar com modulação simples

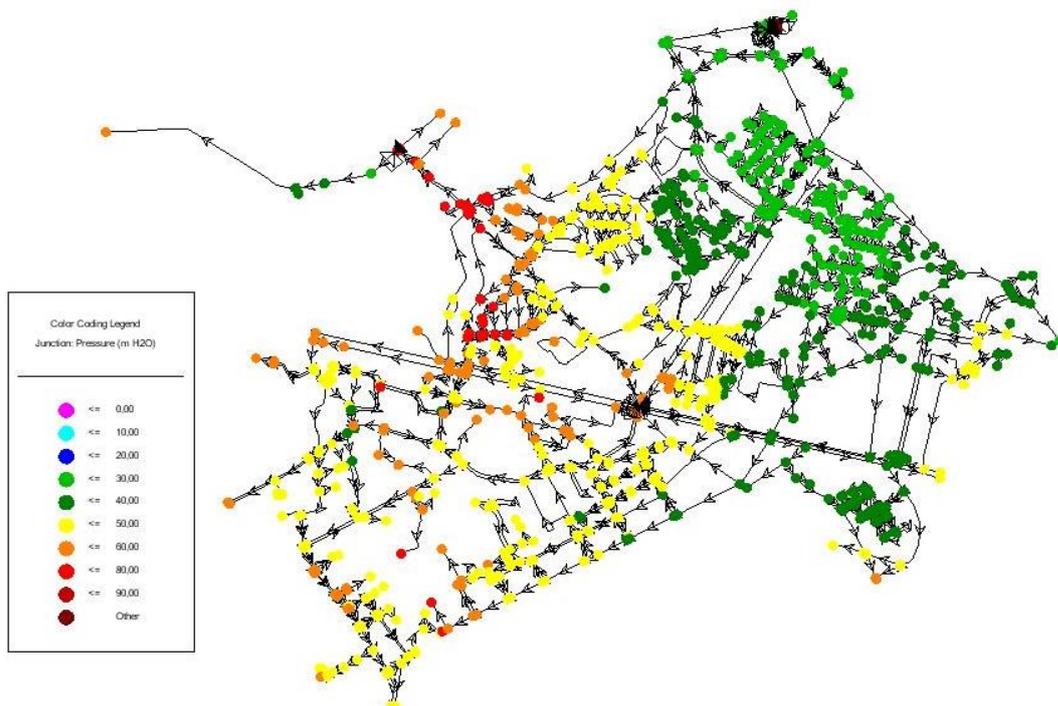


Fig.4. 21 – Pressão nos nós da rede de abastecimento de água para as 3,75 horas com a VRP a operar com modulação pelo caudal

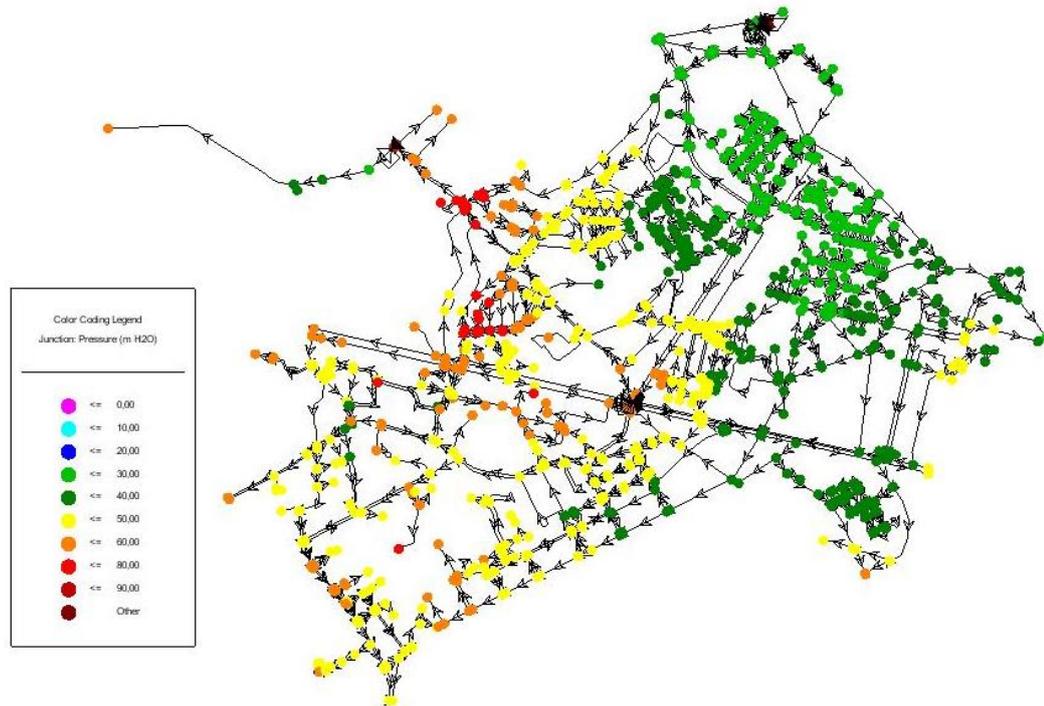


Fig.4. 22 – Pressão nos nós da rede de abastecimento de água para as 3,75 horas com a VRP a operar com modulação pelo ponto crítico

Através das Figuras 4.19, 4.20, 4.21 e 4.22 constata-se que, tal como esperado, é a modulação simples a que proporciona uma menor redução da pressão no período de menor consumo. Reconhece-se, ainda, que existem setores da ZMC de Fonte da Moura, em todas as modulações, onde é crucial reduzir a pressão, já que é ultrapassado o valor limite imposto pelo Decreto Regulamentar de 60 m.c.a. Relativamente à pressão mínima verifica-se que na modulação horária a pressão não é superior ao valor minimamente aceitável de 20 m.c.a. em toda a rede de abastecimento.

4.4. PERDAS DE ÁGUA REAIS EM FUNÇÃO DA MODULAÇÃO APLICADA

Um dos objetivos desta dissertação foi a simulação de perdas de água na rede de abastecimento de Fonte da Moura, com vista à realização de uma análise de sensibilidade das diferentes modulações em estudo, no que respeita ao volume de água perdida na ocorrência de avarias.

O *WaterGEMS* possui uma ferramenta designada por PDD, a qual permite, com a definição de uma função exponencial, a concretização de simulações em que o caudal escoado através de um orifício é dependente da pressão. Esta função é oriunda da lei de vazão de um orifício para fluidos sob pressão (expressão 2.3 do capítulo 2 da presente dissertação) e é simplificada representada pela equação 4.2:

$$Q_{\text{orifício}} = k P^n \quad (4.2)$$

Em que:

$Q_{\text{orifício}}$ = Caudal libertado pelo orifício (m^3/s);

k = Coeficiente função do C_d ; A e g (-);

P = Pressão a que o fluido está submetido (m.c.a.);

n = Expoente.

Para a concretização da função PDD no *software* é necessário definir o expoente da lei de vazão, o qual é dependente do material das condutas e do tipo de fuga, bem como o limite de pressão a partir do qual o caudal de água perdida deixa de ser dependente da pressão.

Na realização das simulações considerou-se o valor de 0,5 como expoente da lei de vazão, por ser o mais comumente aplicado, o qual corresponde a fugas significativas em orifícios de área fixa. Relativamente ao limite de pressão não foi delimitado qualquer valor, considerando-se a permanente dependência do caudal de água perdida em função da pressão.

Na Figura 4.23 é mostrada a janela exibida para a definição da função PDD para as várias simulações.

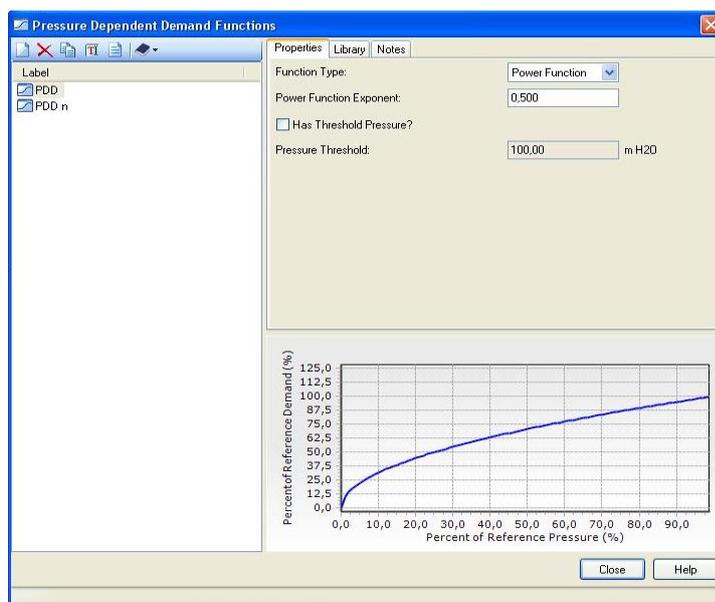


Fig.4. 23 – Janela exibida no *WaterGEMS* para a realização da função PDD

Para a realização das simulações foi inserido um nó na rede de abastecimento, bem como a conduta correspondente onde foram simuladas as perdas de água reais. Este nó foi colocado na rede apenas com um consumo relativo ao caudal de perdas e, por conseguinte, com ausência de consumo base. Na Figura 4.24 é possível verificar a sua localização.

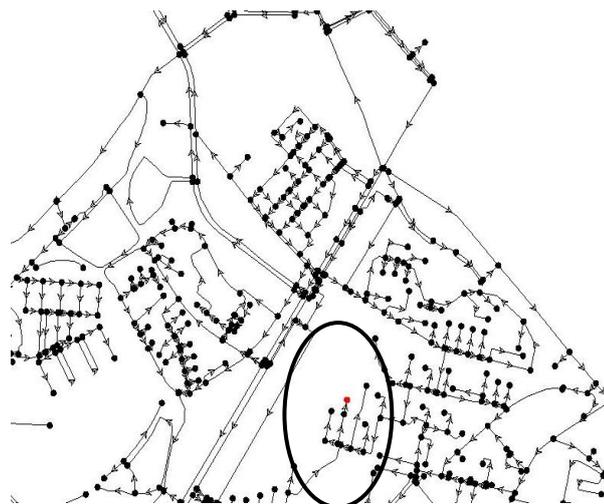


Fig.4. 24 – Localização do nó de perdas representado a vermelho

A conduta onde foram simuladas as perdas de água reais tem as características demonstradas no Quadro 4.5.

Quadro 4. 5 – Características da conduta de simulação de perdas

Características	
Diâmetro (mm)	50,0
Material	FG
Rugosidade Hazen – Williams	90,0
Comprimento (m)	68,25

Neste âmbito, foram estipulados quatro cenários distintos para cada modulação anteriormente simulada, para percentagens de perdas de água reais na zona de 10, 20, 30 e 40% do consumo médio total, o qual é de 8883 m³/dia. Consequentemente, em cada um destes cenários aplicaram-se os caudais de água perdida representados no diagrama da Figura 4.25.

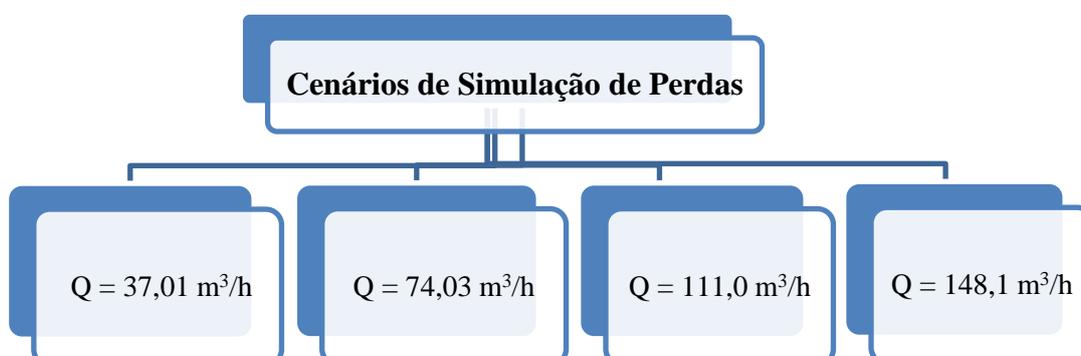


Fig.4. 25 – Diagrama representativo das simulações de perdas efetuadas

Com a realização destas simulações averiguou-se qual a modulação mais eficaz em matéria de perdas de água reais. Uma vez que a modulação simples corresponde à metodologia de funcionamento da válvula mais primitiva, originando perdas de água superiores pelas maiores pressões alcançadas na rede, esta foi utilizada como cenário base para a execução dos cálculos. Os resultados obtidos estão presentes nos subcapítulos seguintes.

4.4.1. VOLUME DIÁRIO DE ÁGUA PERDIDA

Depois de realizadas as simulações foi obtido, para cada cenário, o volume de água perdida na zona, respeitante ao período de tempo de um dia. Isto permitiu a determinação da influência de cada modulação nas perdas de água reais. Foi, igualmente, calculada a redução no caudal alcançada, comparativamente com a modulação simples, a partir da expressão 4.3:

$$\text{Redução Q (\%)} = \left[1 - \left(\frac{Q_{\text{total mod}}}{Q_{\text{total mod simples}}} \right) \right] \times 100 \quad (4.3)$$

Em que:

$Q_{\text{total mod}}$ = Caudal total de água perdida na modulação horária, pelo ponto crítico ou pelo caudal (m^3/d);

$Q_{\text{total mod simples}}$ = Caudal total de água perdida na modulação simples (m^3/d).

No Quadro 4.6 estão representados os resultados obtidos através do *software*.

Quadro 4. 6 – Resultados obtidos relativos ao caudal de água perdida para cada modulação da VRP

Modulação	Perdas de Água Reais	Caudal Total de Água Perdida (m^3/d)	Redução do Caudal Total de Água Perdida (%)
Horária	10%	373,3	10,40
	20%	398,7	10,50
	30%	404,0	10,52
	40%	406,0	10,72
Simples	10%	416,6	-
	20%	445,5	-
	30%	451,5	-
	40%	454,7	-

Quadro 4. 6 – Resultados obtidos relativos ao caudal de água perdida para cada modulação da VRP (continuação)

Modulação	Perdas de Água Reais	Caudal Total de Água Perdida (m ³ /d)	Redução do Caudal Total de Água Perdida (%)
Caudal	10%	343,4	17,57
	20%	373,9	16,06
	30%	382,5	15,30
	40%	388,2	14,63
Ponto Crítico	10%	327,9	21,30
	20%	349,7	21,49
	30%	354,3	21,53
	40%	356,0	21,71

Numa análise ao Quadro 4.6 averigua-se que a modulação simples, comparativamente com as restantes modulações, é a que possui um maior contributo no volume diário de água perdida, pelo facto desta causar valores mais elevados de pressão na rede de distribuição de água.

As modulações pelo ponto crítico e pelo caudal são as que garantem volumes inferiores de água perdida, o que aumenta a viabilidade da sua implementação. Assim, são alcançados benefícios ambientais com a preservação de um recurso atualmente escasso.

No que respeita à redução conseguida no caudal de água perdida, comparativamente com a modulação simples, constata-se que a aplicação da modulação pelo ponto crítico é a que garante valores mais elevados, situando-se entre 21,30 e 21,71%. Para a modulação pelo caudal são previsíveis reduções entre 14,63 e 17,57%.

A modulação horária origina reduções no caudal de água perdida entre 10,40 e 10,72%, valores estes bastante distanciados dos obtidos para as modulações pelo caudal e pelo ponto crítico.

No gráfico da Figura 4.26 está representado o caudal diário de água perdida em função das perdas de água reais simuladas para cada modulação da VRP.

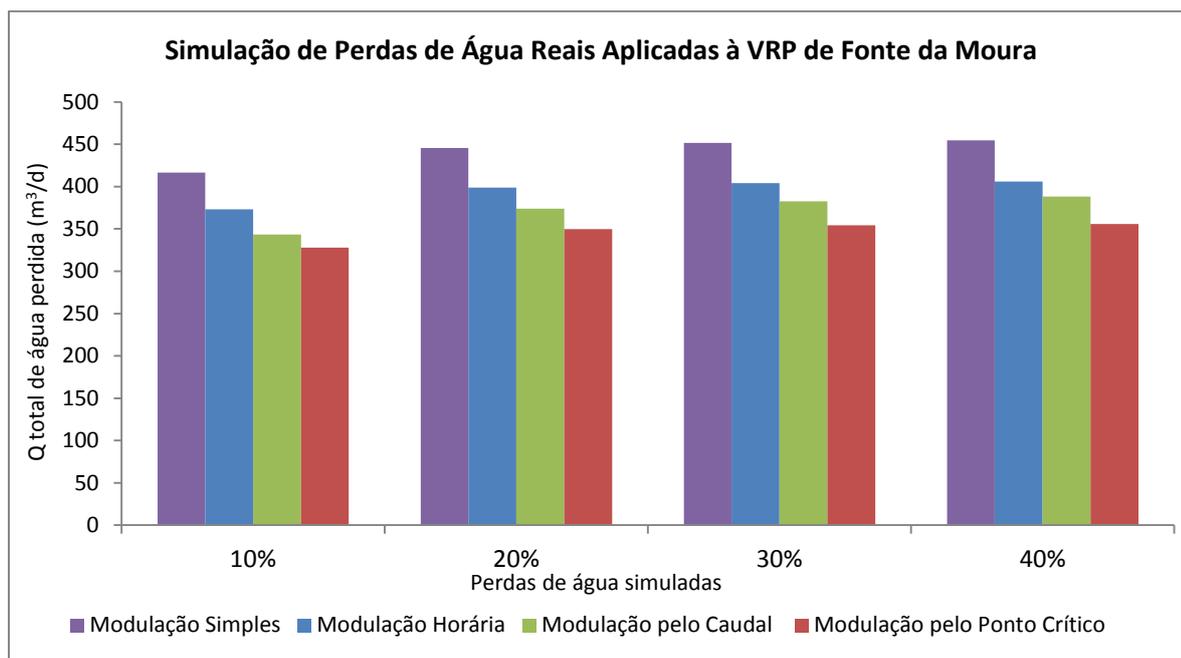


Fig.4. 26 – Caudal diário de água perdida para cada modulação da VRP obtido pelo PDD – *WaterGEMS*

No gráfico da Figura 4.26 é visível um decréscimo no caudal diário de água perdida com a aplicação de sistemas redutores mais desenvolvidos tecnologicamente, como é o caso da modulação pelo caudal e da modulação pelo ponto crítico. Posto isto, o maior ajuste da pressão de jusante à variação, no tempo, do consumo e da pressão na rede de distribuição contribui para o alcance de volumes de água perdida, claramente, mais diminutos.

4.4.2. POUPANÇA ANUAL

A introdução de uma VRP num SAA permite a redução das perdas de água e, conseqüentemente, a obtenção de menores prejuízos económicos para a EG. Porém, a válvula poderá ser otimizada com a aplicação de uma modulação que garanta valores mais baixos de pressão, o que origina uma redução do volume de água perdida, tal como demonstrado pela equação 4.2.

Neste estudo, após a simulação das perdas de água reais e a determinação do caudal de água perdida, foi objetivo a estimativa da poupança anual conseguida com a implementação das modulações horária, pelo caudal e pelo ponto crítico, em relação à modulação simples.

Para a realização dos cálculos considerou-se que a compra de água pela EG em baixa à entidade em alta tem um custo de 0,3773 €/m³. A poupança anual foi obtida de acordo com a expressão 4.4:

$$\text{Poupança Anual (€/ano)} = (Q_{\text{total mod simples}} - Q_{\text{total mod}}) \times \frac{0,3773\text{€}}{\text{m}^3} \times 365 \text{ dias} \quad (4.4)$$

$Q_{\text{total mod simples}}$ = Caudal total de água perdida na modulação simples (m³/d);

$Q_{\text{total mod}}$ = Caudal total de água perdida na modulação horária, pelo ponto crítico ou pelo caudal (m³/d).

Os resultados obtidos estão presentes no Quadro 4.7.

Quadro 4. 7 – Resultados obtidos relativos à poupança anual conseguida para cada modulação da VRP

Modulação	Perdas de Água Reais	Poupança Diária (€/d)	Poupança Anual (€/ano)
Horária	10%	16,3	5966
	20%	17,6	6438
	30%	17,9	6539
	40%	18,4	6712
Caudal	10%	27,6	10081
	20%	27,0	9849
	30%	26,1	9511
	40%	25,1	9164
Ponto Crítico	10%	33,5	12221
	20%	36,1	13181
	30%	36,7	13384
	40%	37,3	13597

De acordo com o Quadro 4.7 verificam-se elevadas poupanças anuais, situadas entre 9164 e 10081 € para a modulação pelo caudal e compreendidas entre 12221 e 13597 € relativamente à modulação pelo ponto crítico, em comparação com a modulação simples. Tal como expetável, a modulação horária é a que provoca poupanças inferiores, compreendidas entre 5966 e 6712 €. No gráfico da Figura 4.27 está representada a poupança anual obtida para cada modulação em função das perdas de água simuladas.

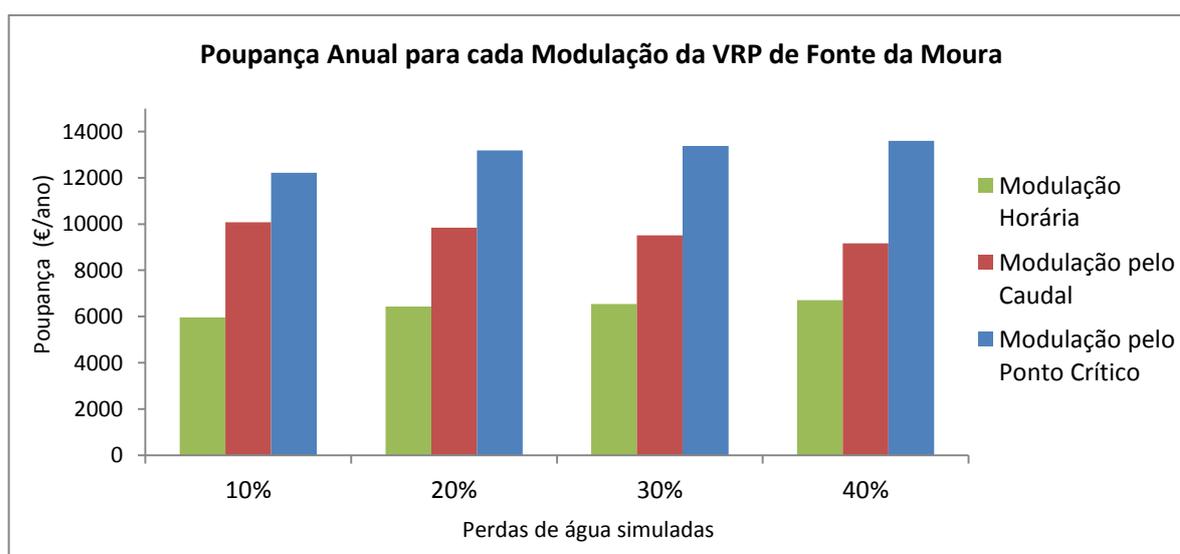


Fig.4. 27 – Poupança anual obtida com a implementação de cada modulação da VRP

4.4.3. EXTRAPOLAÇÃO PARA DIFERENTES ENTIDADES GESTORAS

A Águas do Porto, EM, bem como outras EG, detém um sistema de monitorização da totalidade da rede de abastecimento. Em virtude, existem pontos de medição do caudal e da pressão nas ZMC, particularmente com a colocação de *data loggers* que, com um sistema de monitorização e telemetria, permitem a inspeção diária da rede. Isto possibilita o controlo dos consumos, das pressões e das perdas de água, facilitando a realização do balanço hídrico. É recorrente, neste tipo de EG, a existência de um sistema de telegestão, o qual proporciona a transmissão dos valores medidos para a sede da empresa, tornando-se mais acessível o controlo da rede. No entanto, a maior parte das EG do setor possui uma monitorização insuficiente da sua rede, bem como a ausência telemetria e, por conseguinte, não têm conhecimento dos consumos e pressões que, realmente, se fazem sentir no sistema de abastecimento.

Com efeito, foi objetivo desta dissertação a realização das simulações de perdas de água reais para este tipo de EG. Inicialmente, foi realizado o padrão médio do caudal no ponto de entrega para três patamares de consumo, tal como representado no gráfico da Figura 4.28, tendo sido realizadas as simulações em função deste.

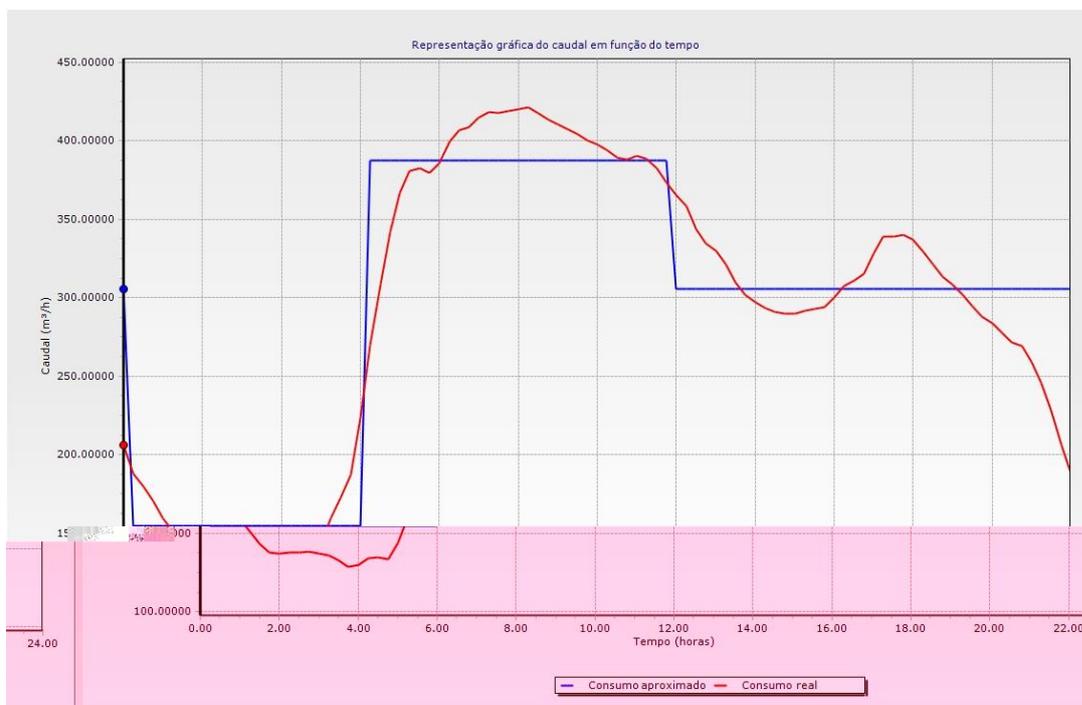


Fig.4. 28 – Caudal aproximado e caudal real no ponto de entrega de Fonte da Moura

De acordo com o gráfico da Figura 4.28 constata-se que foram criados para estas simulações três patamares de consumo, a saber: das 0 às 6 horas o consumo é de 154,31 m³/h, das 6,25 às 13,75 horas o consumo é de, aproximadamente, 387,23 m³/h e das 14 às 24 horas este é de 305,71 m³/h.

O patamar inferior de caudal é relativo ao período noturno, em que o consumo na rede respeita, na sua maior parte, a perdas de água reais. Já o patamar de caudal superior tem início ao princípio da manhã, estendendo-se até ao final do período de almoço. Quanto ao patamar intermédio este corresponde ao período da tarde e prolonga-se até à noite, após o período de jantar.

Com o novo padrão de consumo foram simulados os três tipos de modulação estudados nesta dissertação.

4.4.3.1. Modulação Horária e Modulação Simples

Inicialmente, procedeu-se à execução das simulações relativas às modulações horária e simples. No gráfico da Figura 4.29 está representada a variação diária de pressão no ponto crítico com o padrão de consumo representado na Figura 4.28.

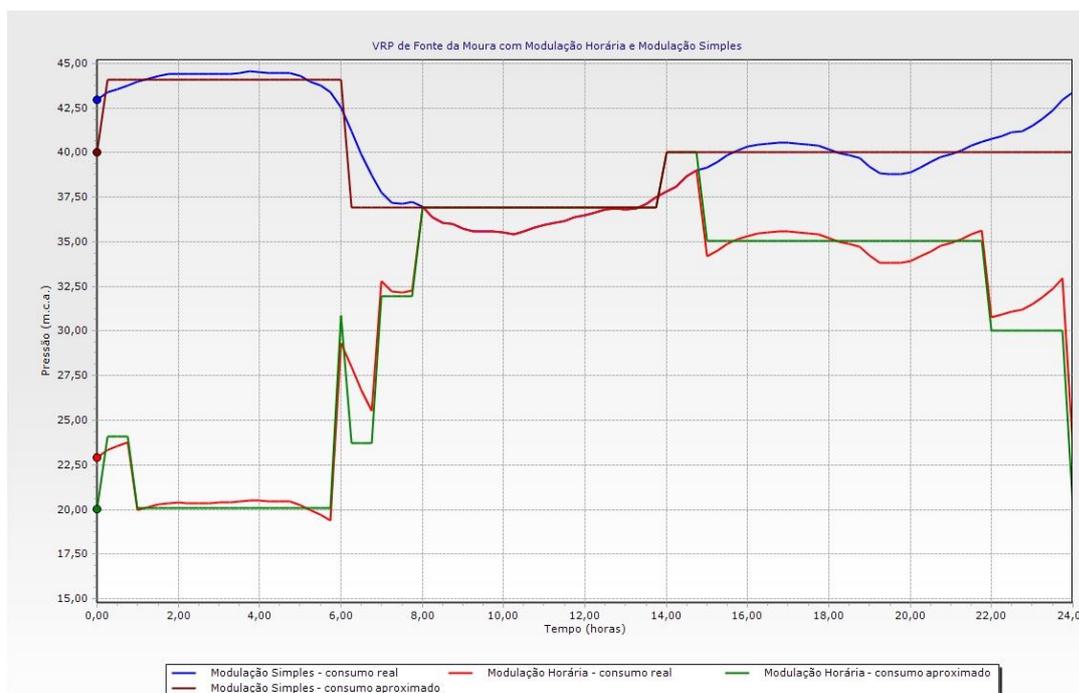


Fig.4. 29 – Pressão no ponto crítico para as modulações horária e simples aplicadas à VRP de Fonte da Moura com um padrão de consumo aproximado

Relativamente ao gráfico da Figura 4.29 constata-se que como na modulação simples a pressão à saída da VRP é fixa esta varia inversamente em função do consumo e, como este possui três patamares de pressão, consequentemente no ponto crítico são visualizados também três intervalos de pressão.

Para ambas as modulações com a utilização de um novo padrão de consumo a pressão no ponto crítico para a hora de maior consumo é superior, devido ao facto do consumo aproximado ser inferior ao real.

No caso da modulação horária, para este tipo de EG, verifica-se um perfil mais reto porém, os perfis de pressão no ponto crítico obtidos são relativamente análogos.

Constata-se que, com o novo padrão de consumo, a pressão no ponto crítico não é muito distinta da obtida nas simulações anteriores. Deste modo, averigua-se que, com um padrão de consumo médio, é possível simular, adequadamente, as modulações horária e simples da VRP de Fonte da Moura.

4.4.3.2. Modulação pelo Caudal e Modulação pelo Ponto Crítico

Posteriormente procedeu-se à simulação das modulações pelo caudal e pelo ponto crítico com o novo padrão de consumo. Na sua concretização não houve o ajuste dos controlos da VRP e, conseqüentemente, a pressão à saída desta manteve-se. Na Figura 4.30 é possível visualizar a variação diária de pressão no ponto crítico com o novo padrão de consumo para a modulação pelo caudal.

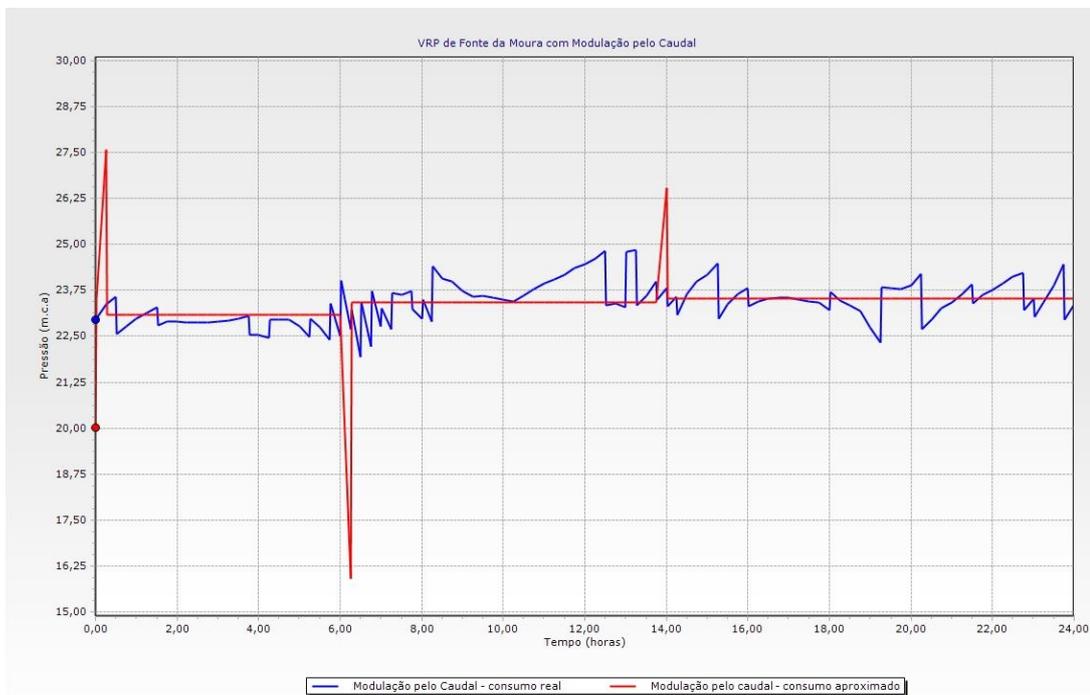


Fig.4. 30 – Pressão no ponto crítico para a modulação pelo caudal aplicada à VRP de Fonte da Moura com um padrão de consumo aproximado

Quanto à modulação pelo caudal verifica-se, mediante o gráfico da Figura 4.30, uma queda na pressão às 6,25 horas e dois picos acentuados para as 0,25 e 14 horas. Estas constatações são devidas às drásticas modificações do consumo nestes instantes de tempo, o qual aumenta ou diminui consideravelmente para um novo patamar. Estas constatações são a causa da aplicação incorreta dos controlos ao novo padrão de consumo, já que estes não foram modificados para a execução das novas simulações. A hora mais crítica corresponde às 6,25 horas, dado que a pressão decresce atingindo 16,00 m.c.a., a qual não é suficiente. Deste modo, é crucial a adequação dos controlos às variações do consumo existentes na rede de abastecimento de água e, assim, a definição de novas condições para a pressão à saída da VRP. Para as restantes horas a pressão mantém-se sensivelmente constante e próxima de 23 m.c.a., porém são visíveis três patamares de pressão, apesar de se situarem muito próximos.

Procedeu-se de igual forma para a modulação pelo ponto crítico, estando representada na Figura 4.31 a variação diária de pressão no ponto crítico com o novo padrão de consumo.

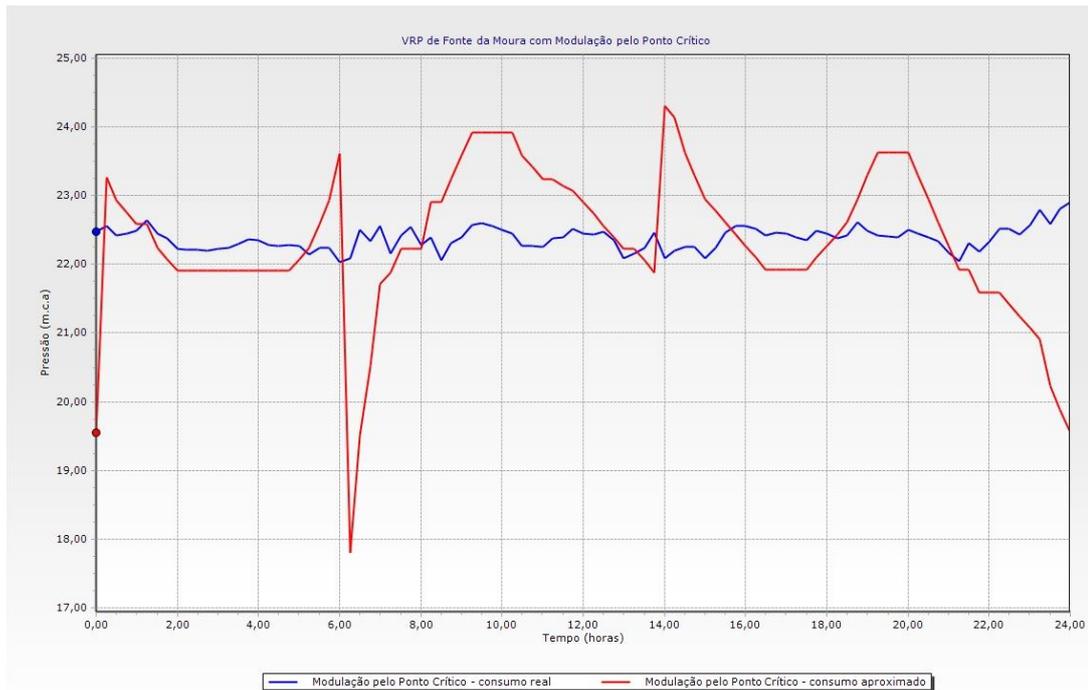


Fig.4. 31 – Pressão no ponto crítico para a modulação pelo ponto crítico aplicada à VRP de Fonte da Moura com um padrão de consumo aproximado

Para a modulação pelo ponto crítico com o novo padrão de consumo, pelo gráfico da Figura 4.31, são apuradas variações consideráveis da pressão no ponto crítico, evidenciando-se a existência de vários picos de aumento e diminuição desta. Constata-se, deste modo, que existe uma maior flutuação da pressão ao longo do dia, em relação à simulação realizada anteriormente.

É às 6,25 horas que se salienta um elevado abaixamento de pressão, nomeadamente até 17,75 m.c.a., isto porque os controlos impostos à válvula não são os mais corretamente aplicados a este padrão de consumo.

Em suma, as simulações deveriam ter sido realizadas corretamente, em resultado do estabelecimento de novos controlos para a pressão à saída da VRP, adaptados ao novo padrão de consumo. Todavia, constata-se que, independentemente do grau de monitorização da rede de abastecimento de água, é possível a realização de simulações com a finalidade de implementação ou otimização de uma VRP. Isto possibilita a verificação dos seus efeitos, em termos de redução da pressão e da sua oscilação e, não obstante, em matéria de perdas de água.

4.4.3.3. Volume Diário de Água Perdida

Com recurso ao *WaterGEMS* é obtido, para cada modulação estudada, o caudal diário de água perdida para a zona de Fonte da Moura. Com estes valores calculou-se a redução do caudal conseguida em relação ao cenário referente à modulação simples, com a expressão matemática 4.3. Estes resultados estão presentes no Quadro 4.8.

Quadro 4. 8 – Resultados obtidos para o volume de água perdida para cada modulação da VRP para outro tipo de EG

Modulação	Perdas de Água Reais	Caudal Total de Água Perdida (m ³ /d)	Redução do Caudal Total de Água Perdida (%)
Horária	10%	373,1	10,45%
	20%	399,7	10,39%
	30%	404,5	10,57%
	40%	406,1	10,57%
Simples	10%	416,6	-
	20%	446,1	-
	30%	452,3	-
	40%	454,1	-
Caudal	10%	344,2	17,40
	20%	366,3	17,89
	30%	369,9	18,20
	40%	389,0	14,35
Ponto Crítico	10%	327,8	21,32
	20%	350,2	21,49
	30%	354,6	21,60
	40%	356,1	21,59

De acordo com o Quadro 4.8, tal como nas simulações anteriores, é a modulação simples que gera maiores volumes de água perdida, seguindo-se, por ordem decrescente, a modulação horária, a modulação pelo caudal e, por último, a modulação pelo ponto crítico. Por conseguinte, é a modulação pelo ponto crítico que origina uma redução no caudal total de água perdida superior, relativamente à modulação horária, situando-se entre 21,32 e 21,60%. Já a redução conseguida para as modulações horária e pelo caudal está compreendida entre 10,39 e 10,57% e entre 14,35 e 17,40%, correspondentemente.

No gráfico da Figura 4.32 é possível verificar o caudal diário de água perdida em função das perdas de água reais simuladas para cada modulação da VRP.

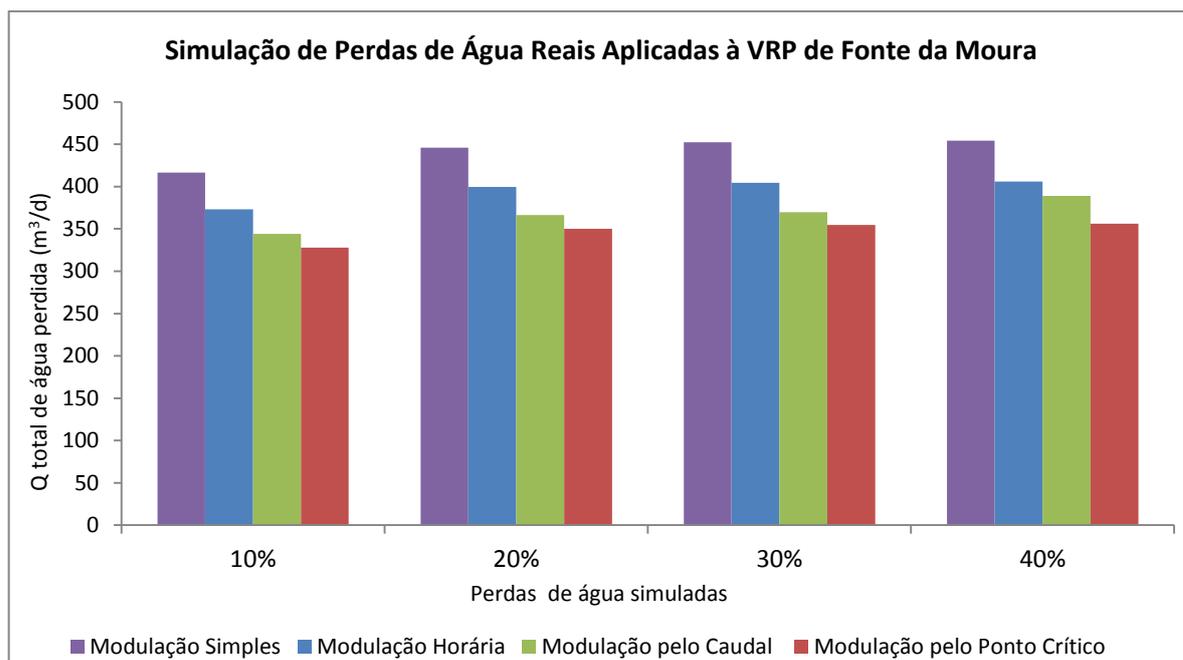


Fig.4. 32 – Caudal diário de água perdida para cada modulação da VRP obtido pelo PDD – *WaterGEMS* - para outro tipo de EG

Constata-se pelo gráfico da Figura 4.32 que, tal como expetável, quanto maior a percentagem de perdas de água reais maior será o volume de água perdida. É importante referir que o volume de água perdida depende da pressão e do material constituinte das condutas.

Tendo por base os resultados obtidos para EG mais eficientes e preocupadas com esta temática é, do mesmo modo, a modulação pelo ponto crítico a metodologia de funcionamento mais proveitosa.

4.4.3.4. Poupança Anual

Foi objetivo destas simulações a determinação da poupança conseguida com a aplicação das modulações horária, pelo caudal e pelo ponto crítico comparativamente com a modulação que origina maiores volumes de água perdida, a modulação simples. Deste modo, averiguou-se quanto uma EG poderá poupar caso invista na otimização da válvula existente.

Posto isto, na realização dos cálculos considerou-se que a compra de água pela EG em baixa à entidade em alta tem um custo de $0,3773 \text{ €/m}^3$. No Quadro 4.9 estão presentes os resultados obtidos nestas simulações, calculados com a expressão matemática 4.4.

Quadro 4. 9 – Resultados obtidos para a poupança anual conseguida para cada modulação da VRP para outro tipo de EG

Modulação	Perdas de Água Reais	Poupança Diária (€/d)	Poupança Anual (€/ano)
Horária	10%	16,4	5998
	20%	17,5	6382
	30%	18,0	6581
	40%	18,1	6613
Caudal	10%	27,4	9982
	20%	30,1	10987
	30%	31,1	11335
	40%	24,6	8976
Ponto Crítico	10%	33,5	12232
	20%	36,2	13201
	30%	36,9	13453
	40%	37,0	13503

Numa análise ao Quadro 4.9 constata-se que da aplicação da modulação pelo ponto crítico resultam poupanças anuais entre 12232 e 13503 €. Estes valores são bastante consideráveis e passíveis de serem facilmente economizados pela EG. A modulação horária poderá originar poupanças anuais entre 5998 e 6613 €, em relação à modulação simples. No gráfico da Figura 4.33 está representada a poupança anual obtida para cada modulação em função da percentagem de perdas e água simulada.

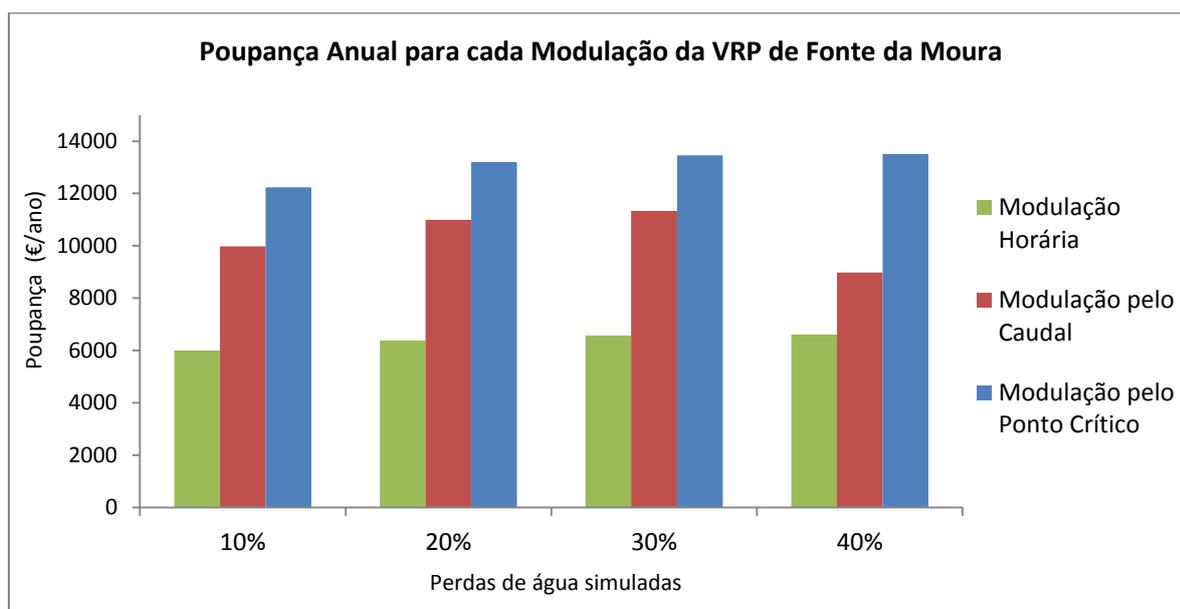


Fig.4. 33 – Poupança anual obtida com a implementação de cada modulação da VRP para outro tipo de EG

4.4.4. ANÁLISE COMPARATIVA

Depois de realizadas as simulações averigua-se que, é na modulação simples que são obtidos os piores resultados em matéria de perdas de água reais, na medida em que são alcançados os maiores volumes de água perdida.

Com a possibilidade de otimização desta válvula, particularmente com a implementação da modulação pelo ponto crítico, consegue-se uma minimização das perdas de água reais e, por conseguinte, do prejuízo financeiro e ambiental para a EG.

O funcionamento da VRP com modulação pelo ponto crítico requer a instalação de um *data logger* no ponto crítico e a programação do controlador. A modificação do funcionamento da válvula origina um período de retorno para a recuperação do investimento praticamente imediato, em virtude das poupanças alcançadas.

Nos gráficos das Figuras 4.34, 4.35, 4.36 e 4.37 é visível a comparação entre os dois tipos de EG, no que respeita ao caudal diário de água perdida em função da percentagem de perdas de água reais simuladas.

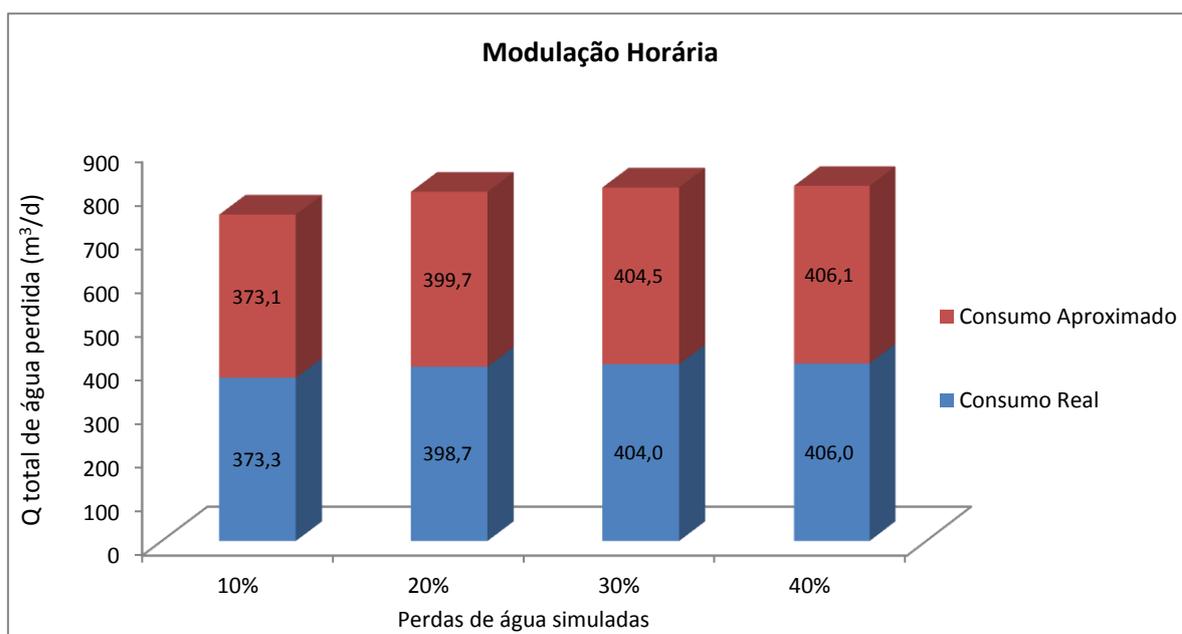


Fig.4. 34 – Caudal diário de água perdida para diferentes EG com a VRP com modulação horária

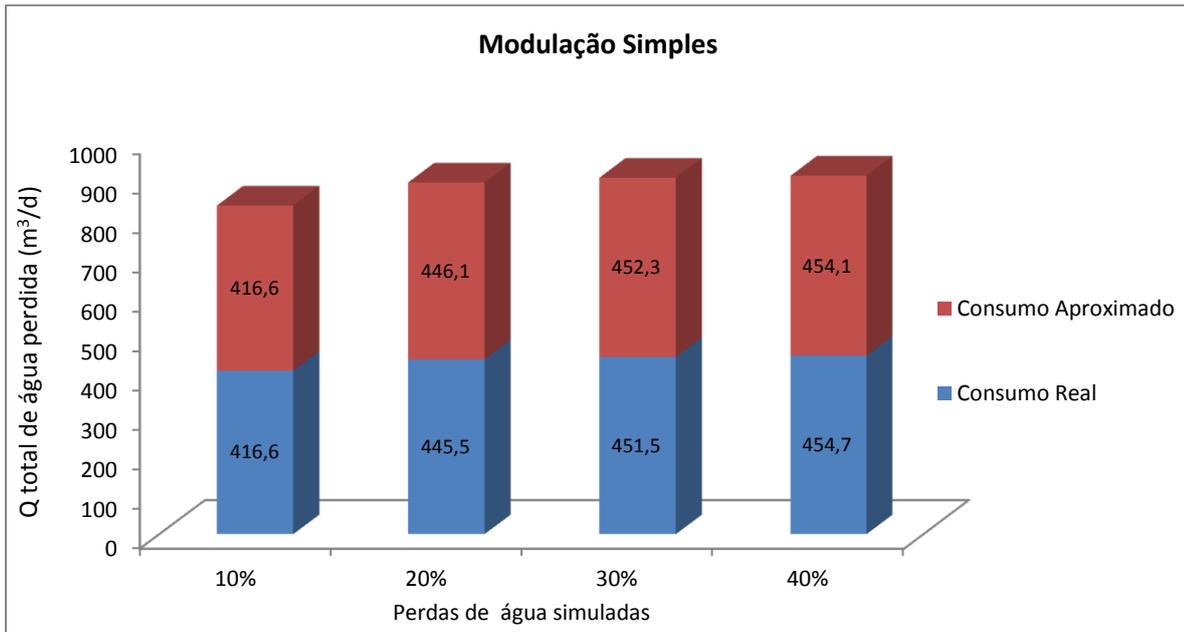


Fig.4. 35 – Caudal diário de água perdida para diferentes EG com a VRP com modulação simples

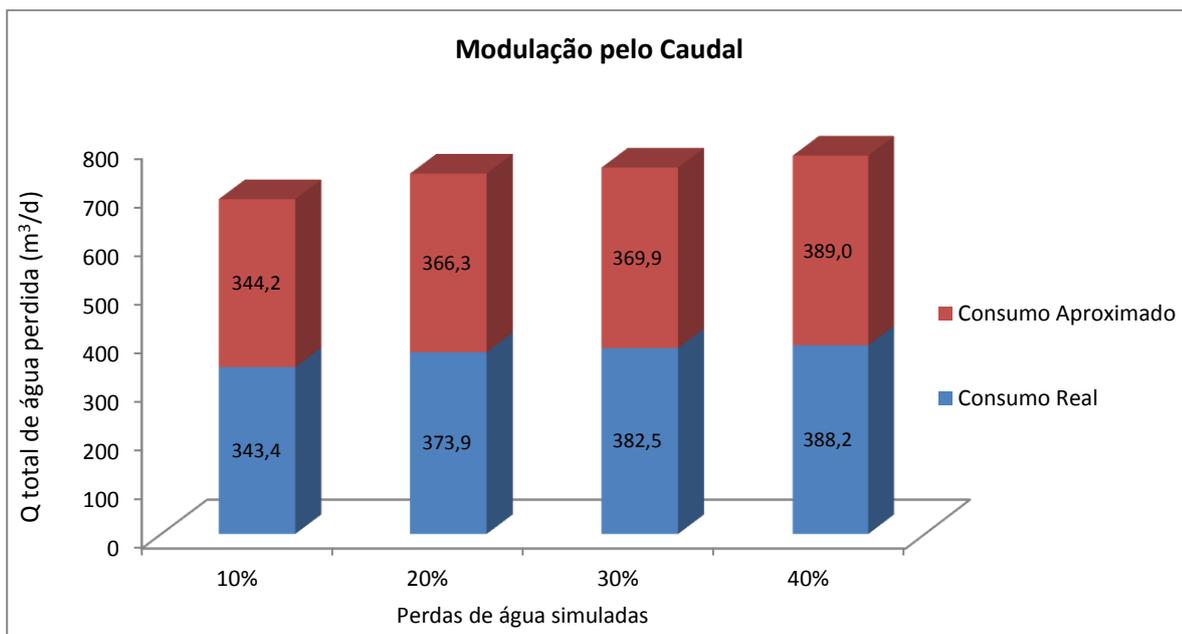


Fig.4. 36 – Caudal diário de água perdida para diferentes EG com a VRP com modulação pelo caudal

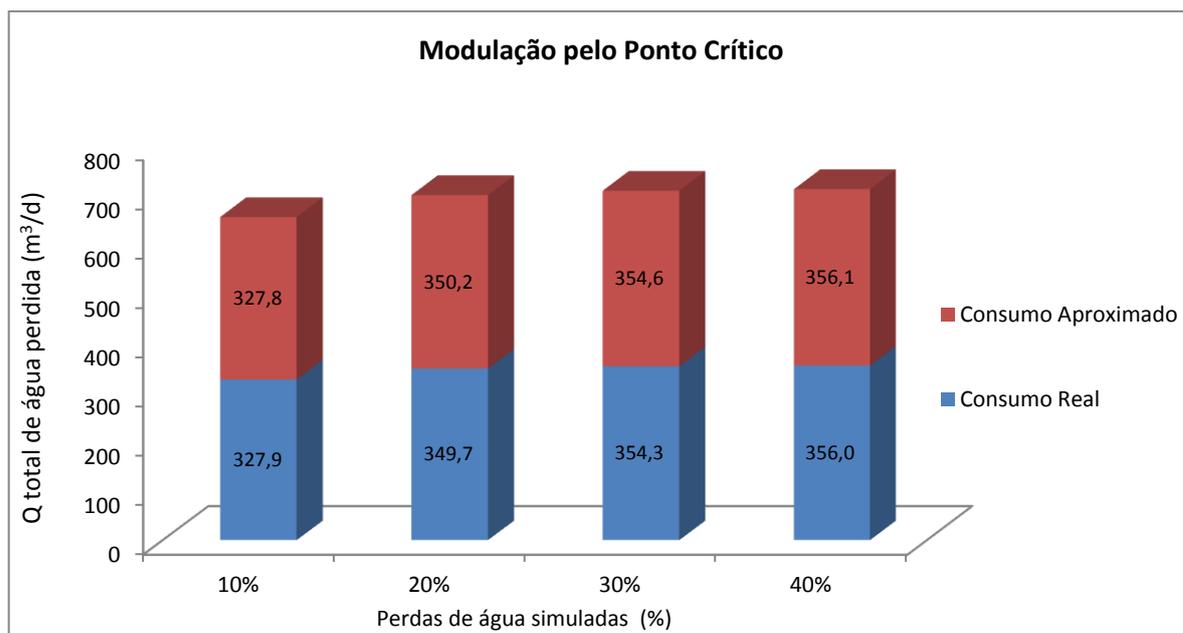


Fig.4. 37 – Caudal diário de água perdida para diferentes EG com a VRP com modulação pelo ponto crítico

Em suma, constata-se que, a partir das simulações concretizadas para os dois tipos de EG, independentemente da precisão dos dados é possível dimensionar com rigor, através de um *software* de modelação hidráulica, uma VRP, bem como realizar estudos acerca da sua possibilidade de otimização. Verificou-se que a utilização de um padrão de consumo aproximado é o suficiente para a realização de estimativas, nomeadamente das perdas de água no sistema, dado que os resultados obtidos são muito idênticos, tal como se visualiza nos gráficos das figuras anteriores.

O novo padrão de consumo utilizado na modelação hidráulica basta para a realização de simulações relativas à implementação de VRP. No entanto, os controlos têm de ser aperfeiçoados às características do sistema em estudo, substancialmente, na modulação pelo caudal e na modulação pelo ponto crítico, com a definição de novos valores de pressão à saída da VRP. Porém, é sabido que a instalação de pontos de medição e a existência de um cadastro atualizado são uma mais-valia para qualquer EG. Com isto, são obtidos valores de pressão e de caudal mais precisos, é alcançado um maior controlo do sistema, nomeadamente das avarias, e são calculadas as perdas de água reais sem recurso a estimativas.

4.5. ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE AVARIAS COM A INTRODUÇÃO DA VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO DA AVENIDA DA BOAVISTA

Um dos objetivos desta dissertação centrou-se no estudo dos efeitos provocados pela instalação da VRP da Avenida da Boavista a 6 de março de 2012. A Águas do Porto, EM, dispõe de uma aplicação informática designada por *Multi*, uma base de dados onde são registadas todas as reclamações relacionadas com as suas diferentes áreas de atividade. Deste modo, foram exportados e tratados os dados referentes às roturas em condutas e ramais, alusivos aos anos 2010, 2011 e 2012.

Nas Figuras 4.38 e 4.39 estão localizadas as roturas na ZMC de Fonte da Moura e na subZMC da Avenida da Boavista, para as situações anteriores e posteriores à inserção da válvula.

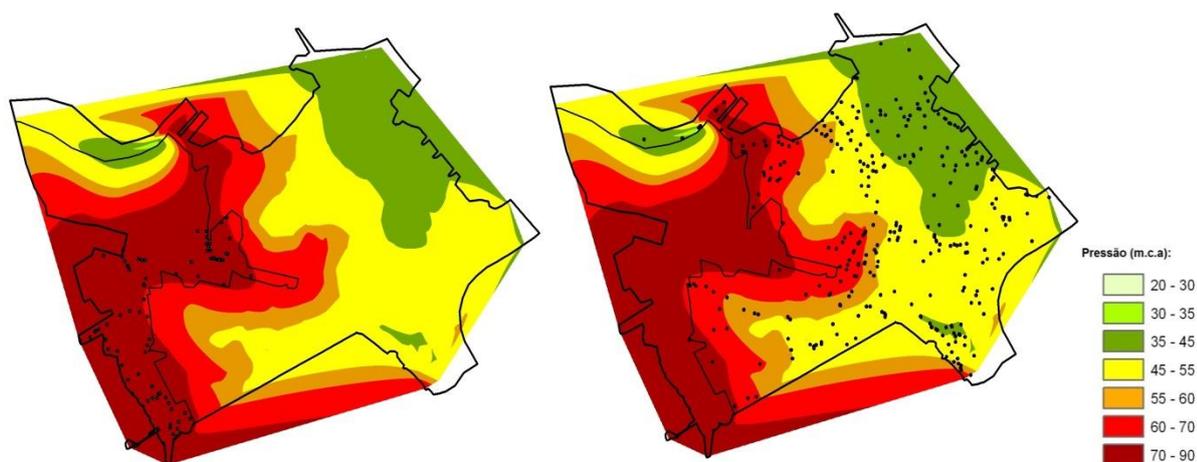


Fig.4. 38 – Localização das roturas ocorrentes na ZMC de Fonte da Moura de janeiro de 2010 a fevereiro de 2012

De acordo com a Figura 4.38 constata-se que o setor da rede de abastecimento pertencente à subZMC da Avenida da Boavista se encontrava a elevadíssimas pressões na ordem dos 70 a 90 m.c.a. Já para a restante zona as pressões situavam-se entre os 35 e os 70 m.c.a., essencialmente. Porém, foi na gama de pressão entre 45 e 55 m.c.a. que se intensificaram as roturas. Pressões excessivas com o conseqüente elevado número de roturas originaram a necessidade de introdução da VRP da Avenida da Boavista.

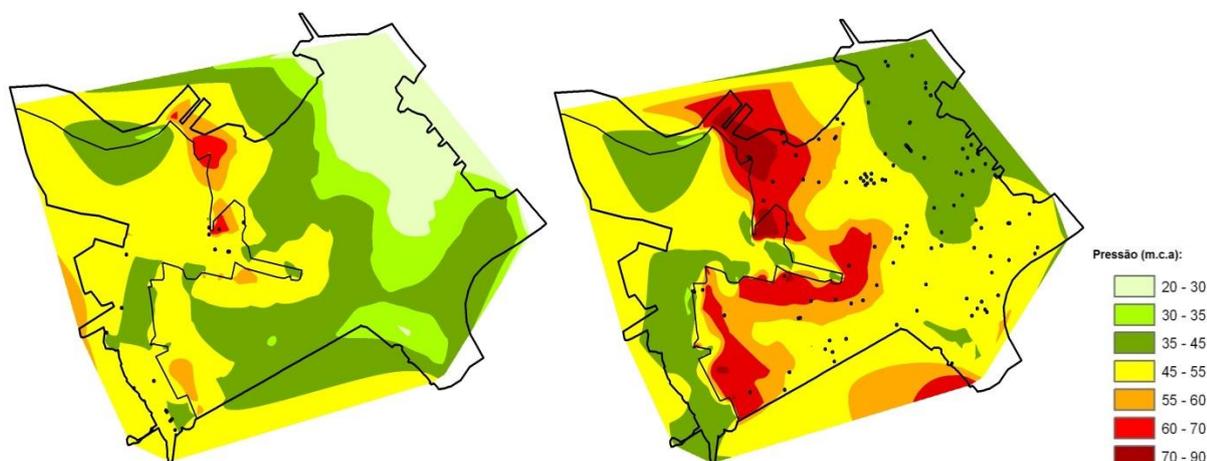


Fig.4. 39 – Localização das roturas ocorrentes na ZMC de Fonte da Moura de março a dezembro de 2012

A partir da Figura 4.39 verifica-se que, de um modo geral, após a introdução da VRP da Avenida da Boavista houve uma drástica redução da pressão, principalmente no interior da subZMC. Averigua-se o decréscimo do número de roturas e a redução da pressão na subzona para valores na ordem dos 45-55 m.c.a.

O critério adotado nesta análise baseou-se no indicador de desempenho infraestrutural, proposto pela IWA (Indicador Op31) e adotado pela ERSAR, relativo à ocorrência de avarias em condutas (Indicador AA11ab). Este é calculado de acordo com a expressão matemática 2.5 (capítulo 2), sendo

expresso em nº de avarias/(100 km · ano). Segundo a IWA numa rede jovem este indicador terá um valor entre 50 e 100.

4.5.1. AVARIAS EM CONDUTAS E RAMAIS

Inicialmente, foi determinado o Indicador AA11ab para o período em estudo, relativo às avarias ocorridas em condutas e ramais. A sua evolução está apresentada no gráfico da Figura 4.40.

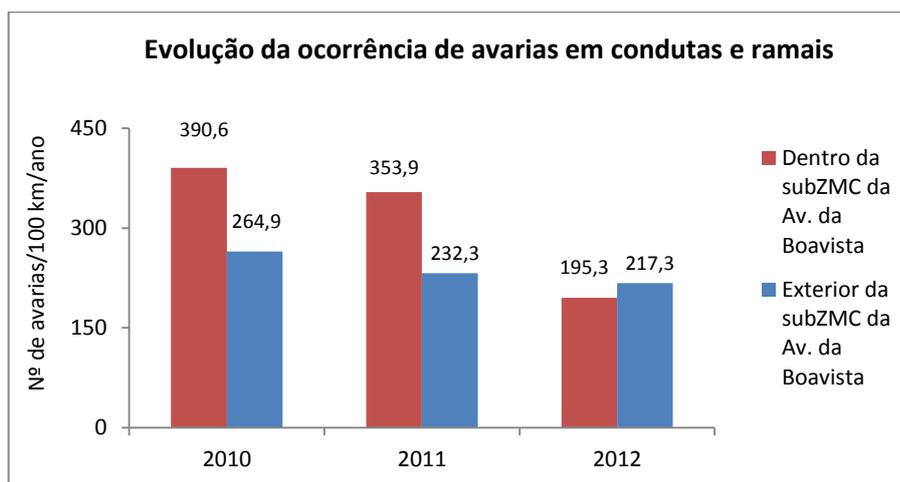


Fig.4. 40 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para Fonte da Moura

De acordo com o gráfico da Figura 4.40 averigua-se o decréscimo indicador entre 2010 e 2012 inclusive, aproximando-se cada vez mais dos valores ideais propostos pela IWA. Constatase que, nos anos de 2010 e 2011 no interior da subZMC da Avenida da Boavista foi registado um maior número de avarias em condutas e em ramais, comparativamente com o exterior. Porém, em 2012 a situação inverteu-se com a colocação da VRP, já que provocou um aumento do tempo de vida útil das condutas, pela redução da pressão e das suas variações, e um reforço na estratégia do CAP para este setor.

No presente estudo foi crucial verificar a evolução da ocorrência de avarias em condutas e em ramais separadamente, de modo a concluir acerca da sua incidência (Figuras 4.41 e 4.42).

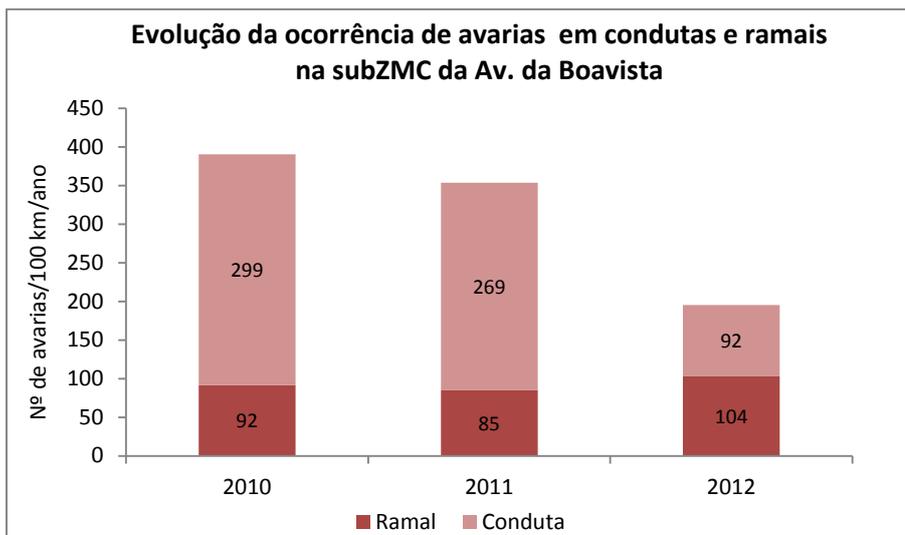


Fig.4. 41 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para condutas e ramais na subZMC

Numa análise ao gráfico da Figura 4.41 constata-se que as avarias registadas em condutas foram superiores às avarias em ramais para os anos de 2010 e 2011. A exceção prende-se com o ano de 2012. Ainda segundo o gráfico da Figura 4.41 é comprovado um decréscimo na ocorrência de roturas em condutas nos últimos três anos, sendo este fortemente acentuado no ano de 2012 pela introdução da VRP e devido à substituição de condutas.

Já no que respeita aos ramais domiciliários as roturas têm sido ligeiramente constantes, apesar de ter existido um pequeno aumento no ano de 2012. Isto é corroborado com o gráfico da Figura 4.42, que reflete um elevado aumento na ocorrência de roturas em ramais domiciliários em dezembro de 2012. Tal foi devido ao reforço da estratégia de CAP na zona e à realização de sondagens programadas para esse mesmo mês. Nestas sondagens são averiguadas todas as roturas da subZMC, já que é feita a sua análise segundo pequenos troços.

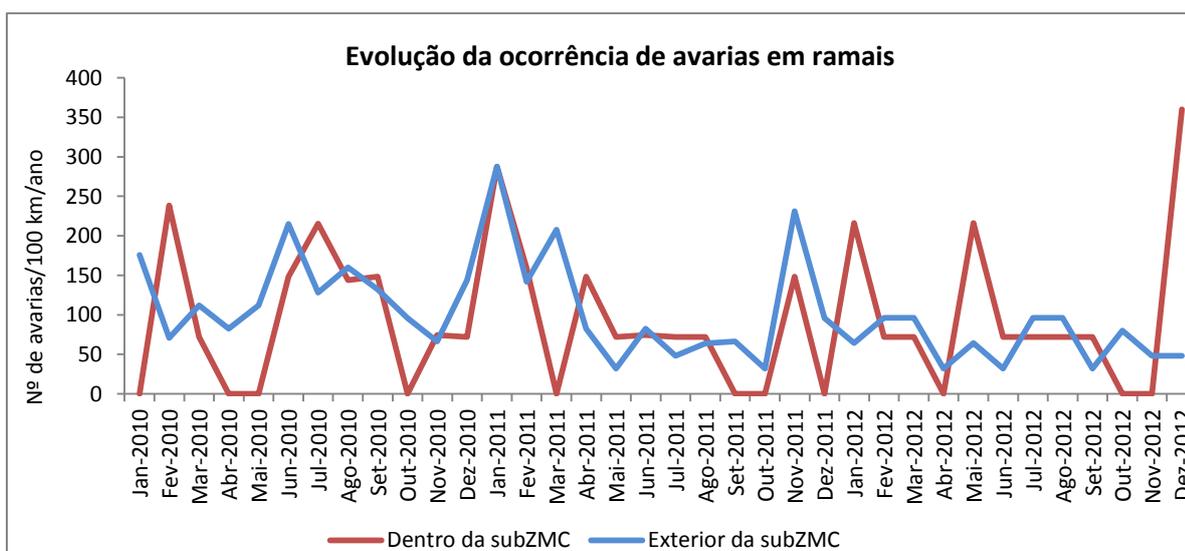


Fig.4. 42 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para ramais domiciliários para o período em estudo

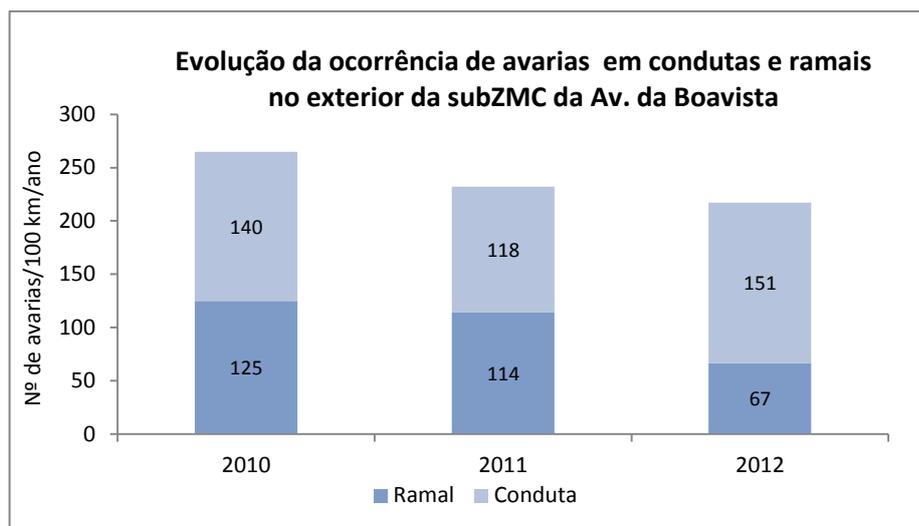


Fig.4. 43 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para condutas e ramais no exterior da subZMC

Do gráfico da Figura 4.43 certifica-se que no exterior da subZMC da Avenida da Boavista as roturas em ramais têm vindo a diminuir progressivamente. Tal foi devido à amplificação do CAP em todas as ZMC do sistema, o que permitiu a reabilitação ou a substituição de ramais domiciliários que construídos em PVC, constituintes de ferro ou chumbo têm vindo a ser substituídos por PEAD.

Quanto às roturas ocorrentes em condutas verifica-se que estas aumentaram abundantemente no ano 2012. Pelo gráfico da Figura 4.44 verifica-se que tal ocorreu, fundamentalmente, no mês de agosto, sendo estas identificadas a partir do CAP.

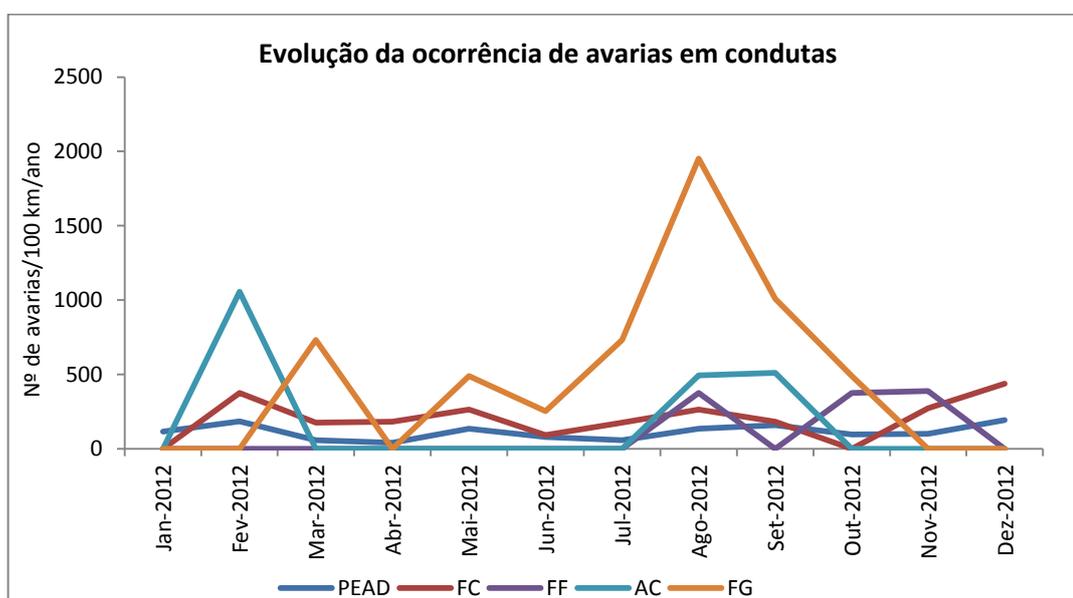


Fig.4. 44 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para condutas para o ano de 2012

É importante salientar que a VRP da Avenida da Boavista produz apenas efeitos superficiais no exterior da subZMC, com maior relevância na proximidade do limite da subzona.

4.5.2. AVARIAS PARTICIPADAS COM CAP OU COMUNICADAS

Na ocorrência de uma rotura esta poderá ser diretamente comunicada por terceiros ou operadores que se situem no terreno. Contudo, esta terá de possuir um caudal suficiente que permita o seu afloramento até à superfície. Porém, a introdução de uma VRP visa a diminuição da pressão, o que faz com que o caudal de fuga seja reduzido e dificulte a sua deteção. Consequentemente, o incremento da realização de ações de CAP é crucial, visto que a sua importância para a redução das perdas de água na zona é aumentada.

Nos gráficos das Figuras 4.45 e 4.46 são apresentados os resultados obtidos.

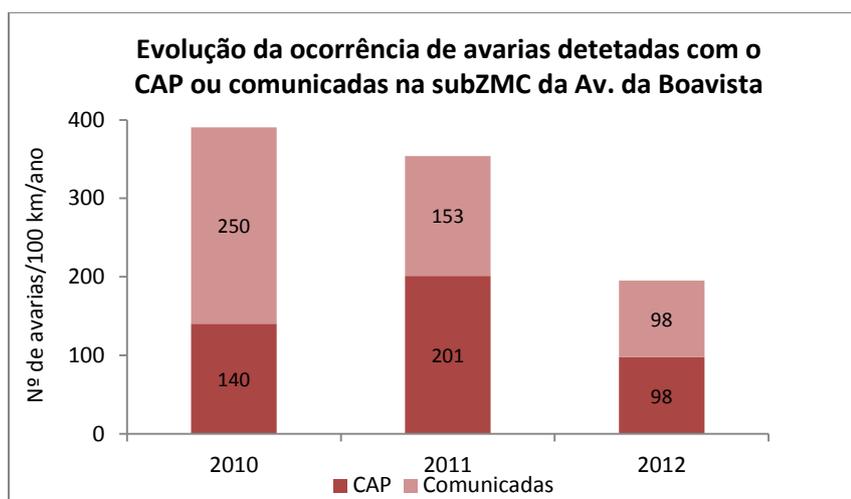


Fig.4. 45 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para ocorrências com CAP ou comunicadas na subZMC

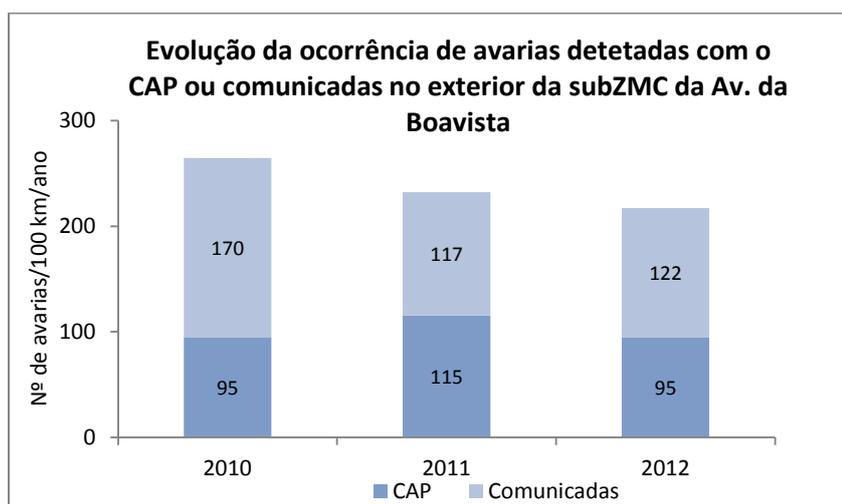


Fig.4. 46 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para ocorrências com CAP ou comunicadas no exterior da subZMC

Mediante o gráfico da Figura 4.45 averigua-se que o CAP nos últimos dois de estudo tem vindo a destacar-se comparativamente com a comunicação de avarias. Isto porque, no ano de 2011 a

ocorrência de roturas detetadas pelo CAP foi aumentada consideravelmente e no ano de 2012 foi conseguido um equilíbrio nos valores obtidos. Porém, houve uma redução na ocorrência de roturas detetadas pelo CAP entre o ano de 2011 e 2012.

Por outro lado, constata-se que a comunicação de roturas tem vindo a diminuir em grande escala, devido à redução da pressão na zona pela introdução da VRP, o que reduz a sua probabilidade de ocorrência, essencialmente as que, pelo seu caudal, são detetáveis à superfície.

No que respeita ao exterior da subZMC da Avenida da Boavista, segundo o gráfico da Figura 4.46 reconhece-se que o CAP tem vindo a tomar um maior destaque na estratégia de redução de perdas reais por parte da Águas do Porto, EM. Porém, para o período em estudo as ocorrências foram na sua maioria comunicadas. A comunicação de ocorrências tem vindo a diminuir gradualmente, pela redução do número de fugas e roturas na rede de abastecimento, devido às medidas que têm vindo a ser implementadas por parte da EG. As avarias comunicadas no exterior da VRP foram sempre superiores às detetadas pelo CAP, já que a pressão nesta área não foi reduzida e, por conseguinte, são as roturas de maior dimensão as que se evidenciam.

4.5.3. AVARIAS EM FUNÇÃO DO TIPO DE MATERIAL

Uma das medidas estratégicas para a redução das perdas reais no SAA da cidade do Porto consiste na reparação e substituição de condutas e de ramais. Um inconveniente resultante da introdução da VRP da Avenida da Boavista prende-se com o incremento das fugas não visíveis. Estas verificam-se sobretudo nas soldaduras topo-a-topo, nas condutas de derivados de ferro e nos ramais domiciliários.

Seria previsível que um material recentemente implementado como o PEAD tivesse um melhor desempenho. Contudo, tal não se verifica devido ao facto dos materiais plásticos serem grandemente influenciados pelas variações térmicas. Do mesmo modo, as condutas em PEAD têm vindo a ser incorretamente instaladas, nomeadamente em locais que exigem a definição de curvas de pequeno raio em que são desrespeitados os limites de flexibilidade, sendo realizadas incorretas ligações por electrosoldadura. Assim, constata-se que o rigor nas obras deverá ser elevado, já que a maior parte das condutas com problemas nas soldaduras são recentes (entre 10 a 15 anos). Porém, quando estas fugas são descobertas realiza-se uma sondagem na área de influência. Na Figura 4.47 está representada uma electrosoldadura em polietileno.



Fig.4. 47 – Electrosoldadura em PEAD para instalação de um nó de derivação de acessórios, nomeadamente tê

Na Figura 4.48 está representada uma fuga numa soldadura topo-a-topo de uma conduta em PEAD.



Fig.4. 48 – Fuga numa soldadura topo-a-topo de uma conduta construída em PEAD

Na Figura 4.49 é possível visualizar uma representação esquemática relativa à correta e incorreta instalação de uma conduta de PEAD.

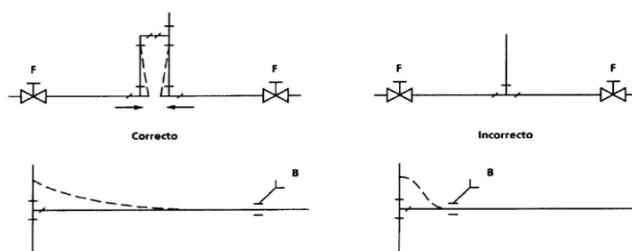


Fig.4. 49 – Instalação de condutas em PEAD (Fersil – Freitas & Silva, S.A., 2007)

As condutas construídas em FC têm vindo a ser extremamente substituídas no SAA do Porto, já que são as mais antigas e apresentam fortes sinais de envelhecimento.

Relativamente às condutas construídas em derivados de ferro, nomeadamente FF, FG e AC, têm vindo a ser, igualmente, substituídas, sendo as avarias registadas resultantes, em grande parte, da corrosão.

Para o cálculo deste indicador foi necessário considerar o comprimento das condutas e dos ramais em função do tipo de material, de forma a homogeneizar estes valores para os 100 km.

Com isto, foi relevante a realização de uma análise das roturas ocorridas em Fonte da Moura com a colocação na VRP em termos de material. Os resultados são apresentados nos gráficos das Figuras seguintes.

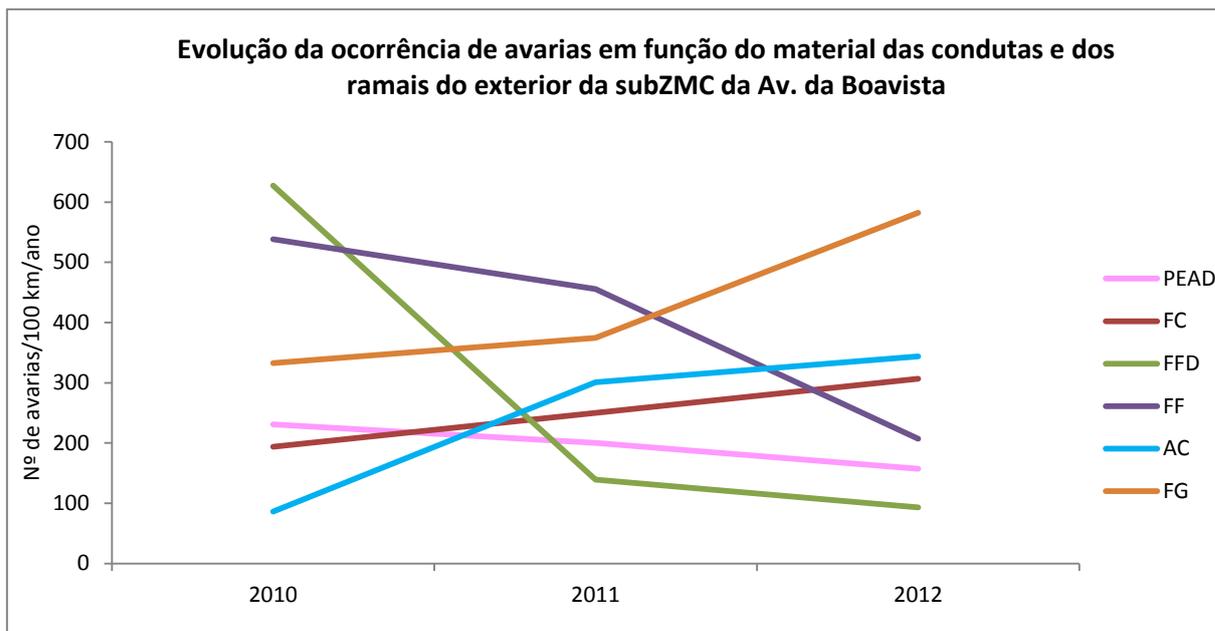


Fig.4. 50 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para condutas e ramais no exterior da subZMC da Avenida da Boavista, em função do material

De acordo com o gráfico da Figura 4.50 constata-se que houve um aumento progressivo da ocorrência de avarias localizadas no exterior da subZMC para condutas e ramais construídos em FC, AC e FG, dado que a introdução da válvula não influencia esta área.

Já as ocorrências em condutas ou ramais em PEAD têm vindo a diminuir ao longo do tempo, dado que as condutas instaladas incorretamente têm vindo a ser reparadas. Isto porque, para condutas com idade dentro do seu período de vida útil é economicamente vantajosa a sua reparação em detrimento da sua substituição.

O material que em 2012 apresentou pior desempenho foi o FG. Em contrapartida, foram as condutas e os ramais em FFD os que tiveram um melhor desempenho, já que esta material tem uma durabilidade elevada e a sua instalação é recente.

Pelo gráfico da Figura 4.50 averigua-se que foi no ano de 2011 que a substituição de condutas e ramais em FF foi mais fortemente aplicada, existindo a redução do indicador para sensivelmente metade do valor inicial.

Esta mesma análise foi realizada para o interior da subZMC da Avenida da Boavista, tal como se constata no gráfico da Figura 4.51.

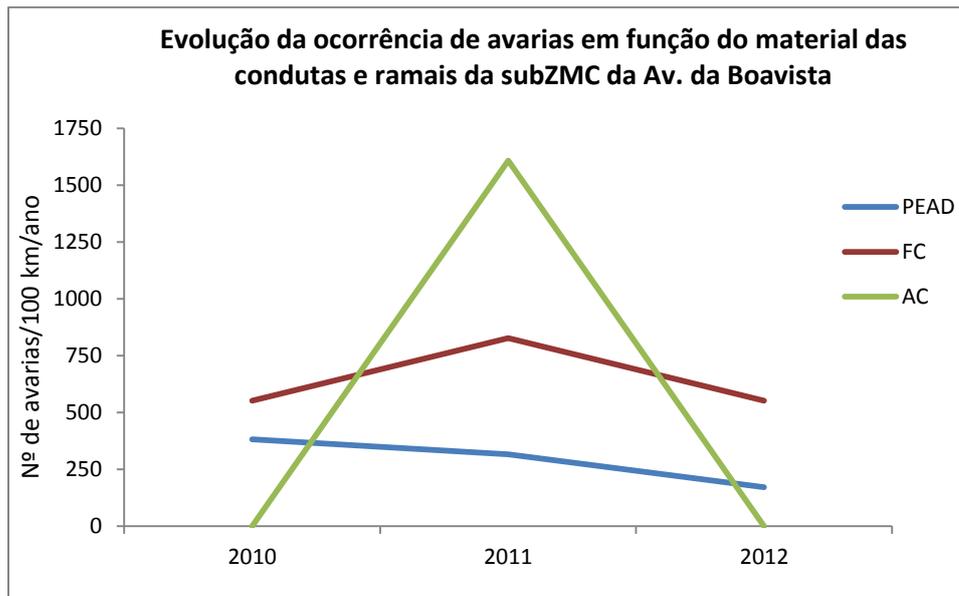


Fig.4. 51 – Progresso do indicador infraestrutural AA11ab para condutas e ramais no interior da subZMC da Avenida da Boavista, em função do material

Segundo o gráfico da Figura 4.51 averigua-se que desde 2010 até ao ano de 2012 a ocorrência de avarias diminuiu para os três tipos de materiais, a saber PEAD, FC e AC. Tal deveu-se à colocação da VRP da Avenida da Boavista, à prática mais intensiva do CAP, bem como à substituição das condutas. No ano de 2011, mais concretamente em agosto, foi realizada uma sondagem em condutas de AC, o que originou um aumento muito acentuado para esse mesmo ano. Nos anos de 2010 e 2012 não foram registadas avarias em AC. Para o FC verifica-se que em 2011 houve um ligeiro aumento, apesar de pouco significativo.

O gráfico da Figura 4.51 revela valores extremamente elevados, isto porque a rede de distribuição da subZMC é diminuta e, do mesmo modo, a cidade do Porto possui na sua generalidade pequenos troços de condutas de diferentes materiais, o que faz com que o indicador aponte para condições manifestamente distorcidas da realidade.

Numa análise global, as condutas em AC, FC e FG devem ser renovadas ou substituídas porque apresentam um ritmo acelerado de degradação. Já as condutas em PEAD devem ser objeto de um exigente controlo de qualidade durante a sua implantação, devendo ser substituídas as que já estão instaladas e apresentam um reduzido desempenho.

4.5.4. AVARIAS EM FUNÇÃO DA PRESSÃO

O principal objetivo inerente à introdução de uma VRP prende-se com a redução da pressão. A probabilidade de ocorrência de uma rotura é, de entre outros fatores, dependente da pressão, bem como do tipo de material em que as condutas e os ramais são construídos. A resistência a variações de pressão e a pressões excessivas é uma característica de cada tipo de material.

No gráfico da Figura 4.52 está representada a dispersão das avarias em função da pressão e do tipo de material para Fonte da Moura, correspondentes ao período de tempo anterior à colocação da VRP da Avenida da Boavista.

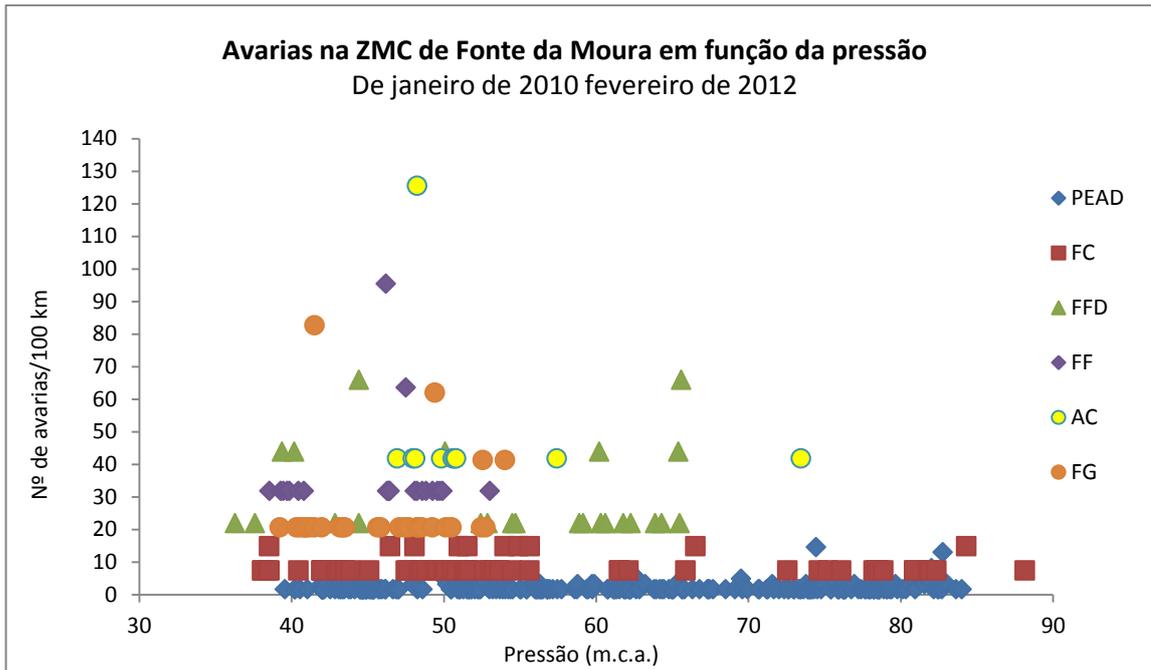


Fig.4. 52 – Avarias em função do material e da pressão para o período de tempo anterior à colocação da VRP

Numa análise ao gráfico da Figura 4.52 constata-se que as roturas na ZMC para o período anterior à colocação da válvula ocorreram segundo uma extensa gama de pressão, estando compreendida entre 40 e 90 m.c.a. O PEAD é o material que confere um maior número de roturas, porque é o mais representativo na rede de distribuição, existindo para as várias gamas de pressão que se fazem sentir na zona. Como o FC é o segundo tipo de material com maior densidade na rede a sua distribuição, segundo valores de pressão apresenta-se muito semelhante ao PEAD. Nas Figuras 4.53 e 4.54 é apresentada a dispersão das avarias em função da pressão e do material para a subZMC da Avenida da Boavista e para o seu exterior para o período posterior à colocação da VRP.

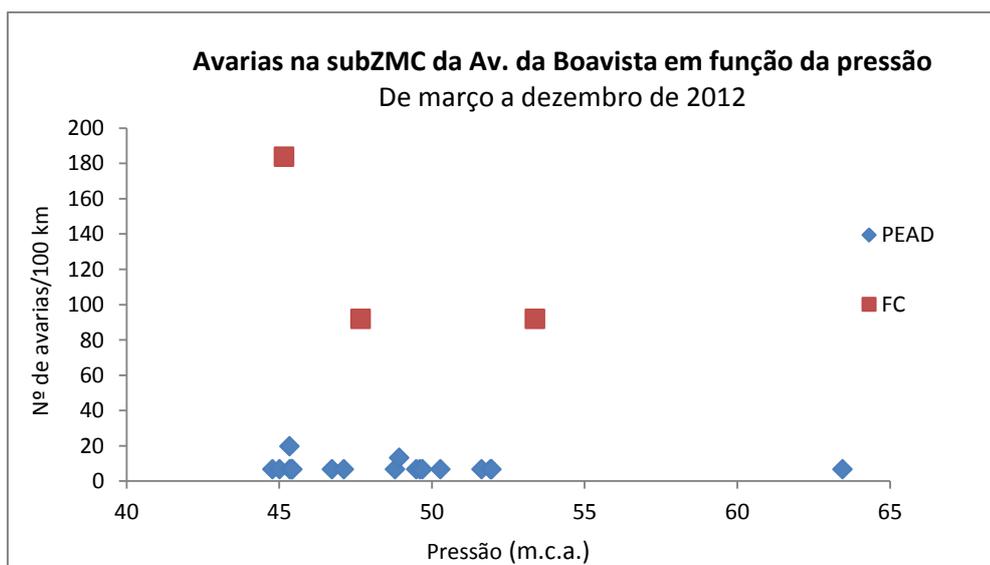


Fig.4. 53 – Avarias em função do material e da pressão para o período de tempo posterior à colocação da VRP para o interior da subZMC

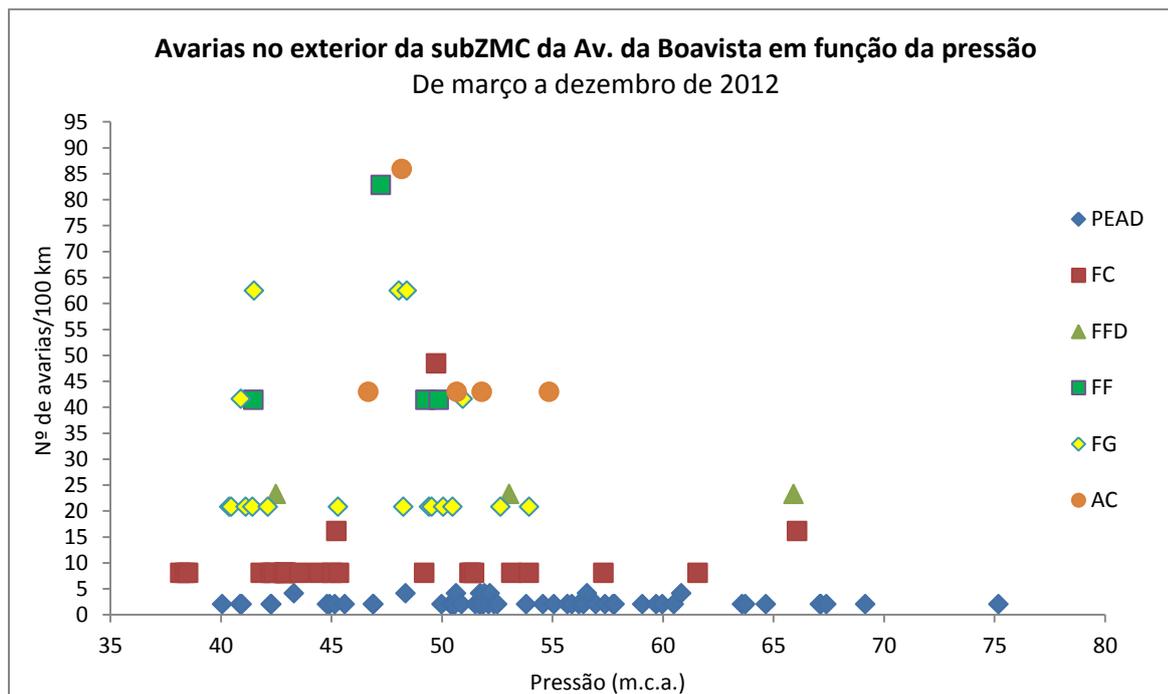


Fig.4. 54 – Avarias em função do material e da pressão para o período de tempo posterior à colocação da VRP para o exterior da subZMC

A partir dos gráficos das Figuras 4.53 e 4.54 averigua-se que a gama de pressões foi reduzida com a colocação da válvula, estando compreendida entre 40 e 75 m.c.a., sensivelmente. Verifica-se também uma redução no número de avarias para a grande parte dos materiais, com exceção do FC. O PEAD e o FC continuam a ser os materiais onde ocorrem roturas para uma gama mais alargada de pressão, apesar de esta ser mais estreita após a introdução da válvula.

Com a VRP da Avenida da Boavista as pressões são ainda excessivas, dado que são visíveis roturas para valores de pressão superiores a 60 m.c.a.

4.5.5. CONCLUSÕES

Apesar de com a introdução da VRP da Avenida da Boavista terem sido verificados excelentes resultados em relação à ocorrência de avarias na rede comparativamente com a situação transata, a otimização do seu funcionamento proporciona notáveis benefícios.

Esta otimização passa pela alteração da modulação atualmente em vigor, baseando-se em duas hipóteses principais: a redefinição da modulação horária com o incremento do número de patamares de pressão à saída da válvula ou a implementação de uma modulação pelo ponto crítico.

Ambas as alternativas proporcionam uma redução considerável da pressão, bem como a permanência de valores mais constantes em toda a rede, o que permite reduzir, ainda mais, a probabilidade da ocorrência de avarias. Contudo, neste âmbito a modulação pelo ponto crítico é mais vantajosa.

Uma vez otimizada a medida primordial de combate às perdas de água reais (gestão da pressão), prevê-se a necessidade de substituição de condutas com a maior celeridade possível e o reforço do CAP, este último em virtude da redução a pressão na zona.

4.6. IMPLEMENTAÇÃO DA MODULAÇÃO PELO PONTO CRÍTICO NA VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO DA AVENIDA DA BOAVISTA

A modulação pelo ponto crítico consiste num sistema inovador, portanto ainda muito pouco aplicado, atualmente.

Sendo objetivo da Águas do Porto, EM, a implementação, pela primeira vez, da modulação pelo ponto crítico, com vista à análise dos seus benefícios e inconvenientes, tomou-se como objeto de estudo a VRP da Avenida da Boavista. Este objetivo, aliado à possibilidade de otimização do funcionamento da válvula e ao facto desta abranger uma área de reduzidas dimensões, constituindo uma excelente zona de experimentação, constituem os motivos da sua utilização neste estudo.

Previamente à sua implementação, determinou-se o ponto crítico da subZMC, de modo a serem realizadas as simulações no *WaterGEMS*.

4.6.1. CARACTERÍSTICAS DA VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO

A VRP da Avenida da Boavista opera segundo uma modulação horária com apenas dois patamares de pressão, correspondentes a 33 m.c.a. para o período noturno e 44 m.c.a. para o período diurno. Como tal a válvula funciona sob a ação de um piloto simples, sem o uso de electroválvulas ou atuadores eletrónicos. A mudança de patamar é definida segundo a percentagem roscada no parafuso, o qual regula o caudal de transição, sendo este de 35 m³/h. Deste modo, abaixo do caudal de transição definido, a válvula reduz a pressão a jusante para a pressão mínima configurada. Ao invés, acima desse valor de caudal a válvula reduz para a pressão máxima. Parte das especificações desta válvula são apresentadas no Quadro 4.10.

Quadro 4. 10 – Características da VRP da Avenida da Boavista

VRP da Avenida da Boavista	
Cota (m)	43,49
Diâmetro Nominal (mm)	100,0
Forma	Globo

4.6.2. PADRÃO DO CONSUMO

No gráfico da Figura 4.55 está representada a variação do caudal à entrada da VRP. A partir deste constata-se que na subZMC da Avenida da Boavista o consumo médio oscila entre 53,93 m³/h, o qual é referente às 9,25 horas, e 14,02 m³/h, para as 3,25 horas. São verificados três patamares superiores de consumo: para o período da manhã e para as horas de almoço e jantar. Já para o período noturno o consumo é mínimo, tal como expetável.

Este gráfico é representativo dos valores de caudal medidos pelo *data logger*, sendo que a linha azul corresponde à média das medições realizadas em resultado da calibração por parte do *software*.

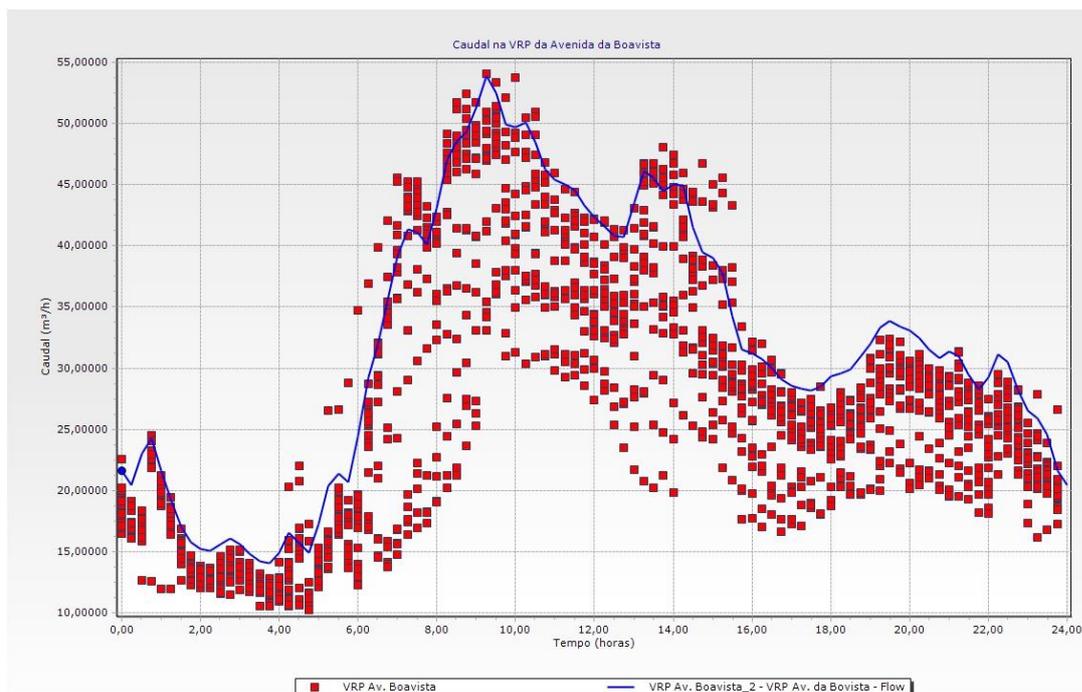


Fig.4. 55 – Variação do consumo na subZMC da Avenida da Boavista

4.6.3. DETERMINAÇÃO DO PONTO CRÍTICO

Para a execução das simulações foi elementar a determinação do ponto crítico da subzona e a dedução da pressão mínima regulamentar nesse local.

Inicialmente, fez-se uma análise das cotas de terreno dos vários nós da rede de abastecimento da subZMC. Através do cadastro da Águas do Porto, EM, e utilizando as funcionalidades do *ArcGIS*, determinaram-se os edifícios com totalizador e, conseqüentemente, os edifícios com cisterna. Todavia, foi igualmente necessário proceder à consulta dos projetos de licenciamento de alguns edifícios.

Deste modo, para os nós mais críticos calculou-se a pressão mínima regulamentar, tendo em consideração o número de pisos. Porém, as simulações foram realizadas admitindo um valor de pressão de 20 m.c.a. o qual corresponde ao mínimo aceitável. No Quadro 4.11 estão expostos os nós mais críticos da rede de abastecimento da subzona, considerando as suas cotas.

Quadro 4. 11 – Características dos nós mais críticos da subZMC da Avenida da Boavista

Nó	Arruamento	Atividade do Edifício	Cota	Número de pisos	Pressão mínima (m.c.a.)	Cisterna
1247	Rua do Molhe	Habitação	42,73	R/C + 1	18	Sem cisterna
65	Rua Júlio Dantas	Habitação	41,44	R/C + 2	22	Sem cisterna
469	Rua do Molhe	Habitação	41,42	R/+C + 1	18	Sem cisterna
1432	Rua Alfageme Santarém	Habitação	40,51	R/C + 9	50	Com cisterna
180	Rua do Molhe	Habitação	40,32	R/C + 1	18	Sem cisterna
472	Largo Nevogilde	Habitação	39,49	R/C + 1	18	Sem cisterna
464	Largo Nevogilde	Habitação	39,19	R/C + 2	22	Sem cisterna
502	Rua Pinho Leal	Habitação	38,94	R/C + 2	22	Sem cisterna
2253	Travessa Nevogilde	Habitação	38,73	R/C	14	Sem cisterna

Na subZMC da Avenida da Boavista os edifícios são de pequenas dimensões possuindo na sua grande maioria cerca de dois pisos (R/C + 1). Os edifícios de maiores dimensões possuem cisterna e, deste modo, não são preocupantes na realização deste estudo. De acordo com o Quadro 4.11 constata-se que o ponto crítico situa-se no nó 1247, localizado na Rua do Molhe, pois possui uma maior altitude, a qual corresponde a 42,73 m. Assim sendo, nas simulações efetuadas terá de ser garantida a pressão de 20 m.c.a., apesar do regulamento considerar necessário somente 18 m.c.a. Os nós 65, 464 e 502 requerem pressões mais elevadas, devido à existência de edifícios com um maior número de pisos, porém a sua cota é mais baixa, o que faz com que a pressão mínima seja mais facilmente cumprida, pela menor perda de carga. A localização dos nós mais críticos está representada nas Figuras 4.56, 4.57, 4.58 e 4.59, apresentadas em seguida.

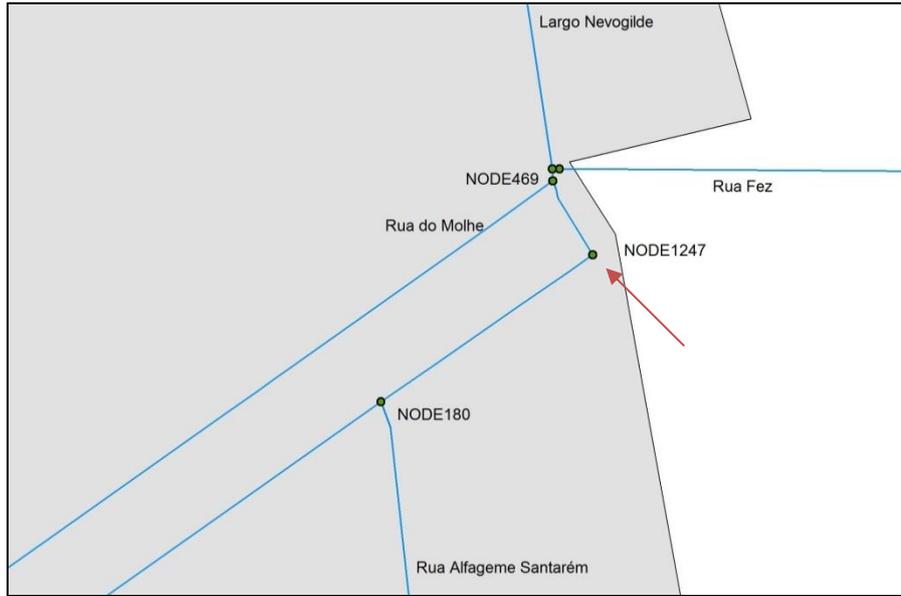


Fig.4. 56 – Nós críticos na subZMC da Avenida da Boavista localizados na Rua do Molhe

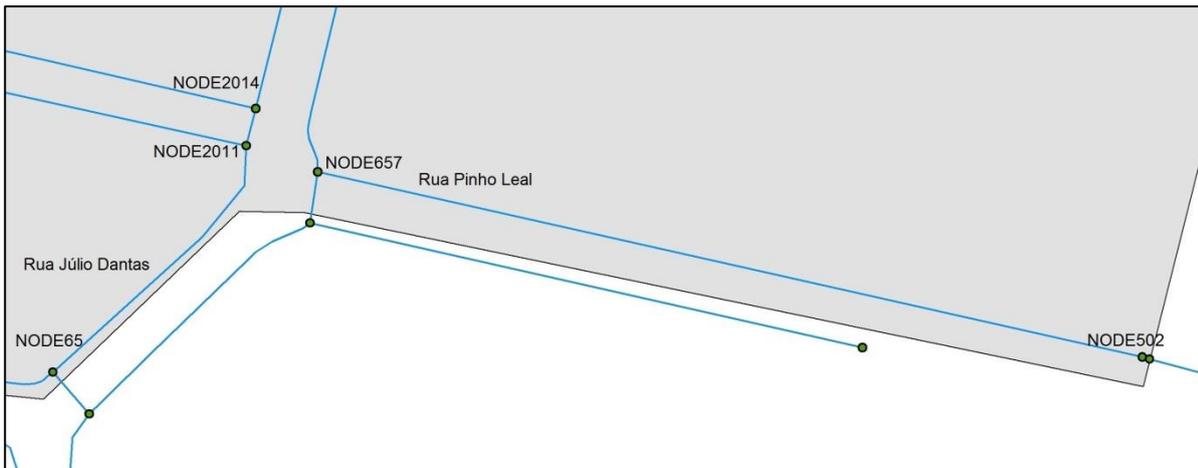


Fig.4. 57 – Nós críticos na subZMC da Avenida da Boavista localizados na Rua Júlio Dantas e na Rua Pinho Leal

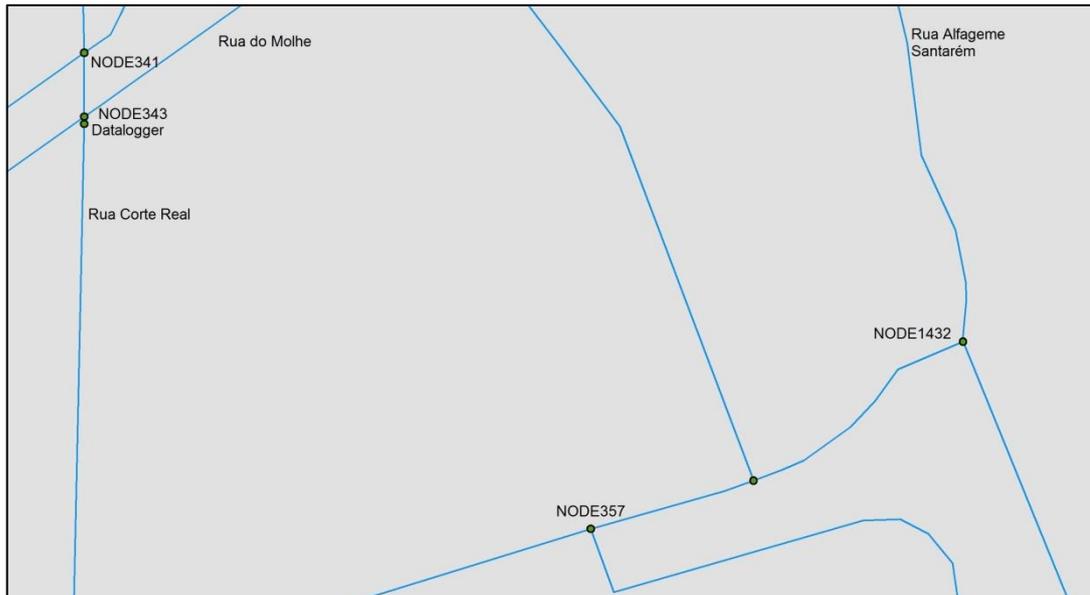


Fig.4. 58 – Nós críticos na subZMC da Avenida da Boavista localizados na Rua Alfageme Santarém e localização do *data logger* na Rua Côrte Real

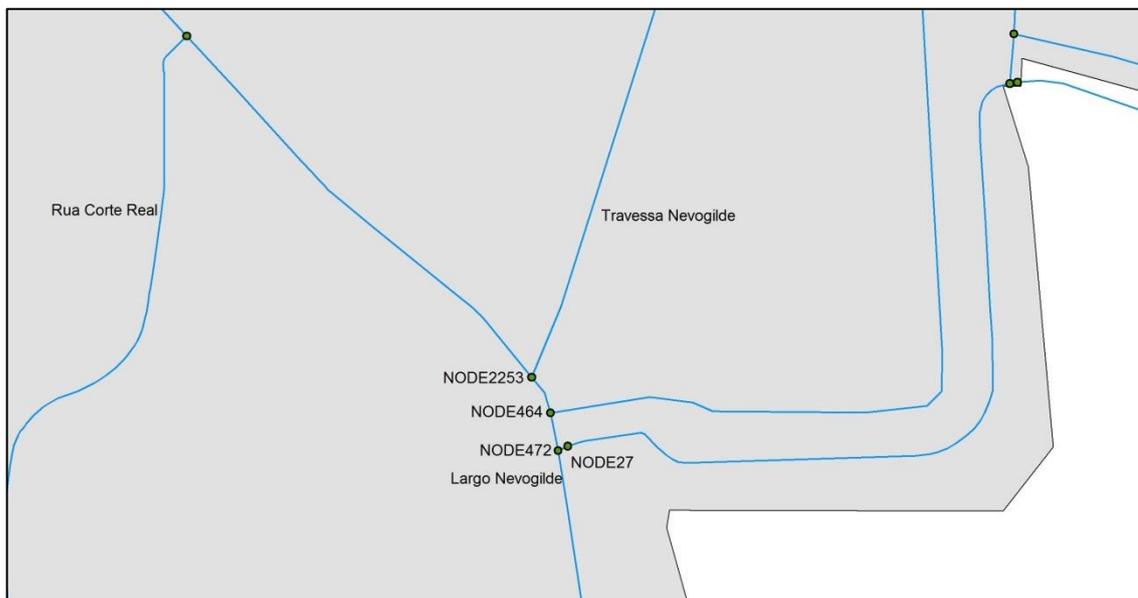


Fig.4. 59 – Nós críticos na subZMC da Avenida da Boavista localizados no Largo Nevogilde e na Travessa de Nevogilde

4.6.4. MODULAÇÃO HORÁRIA

A VRP da Avenida da Boavista foi introduzida na ZMC de Fonte da Moura, devido à prevalência de pressões exageradamente elevadas, oriundas da reduzida altitude do terreno comparativamente com a restante área.

No gráfico da Figura 4.60 está patente a variação da pressão a montante da VRP da Avenida da Boavista, com a válvula existente no ponto de entrega de Fonte da Moura a funcionar com modulação horária.

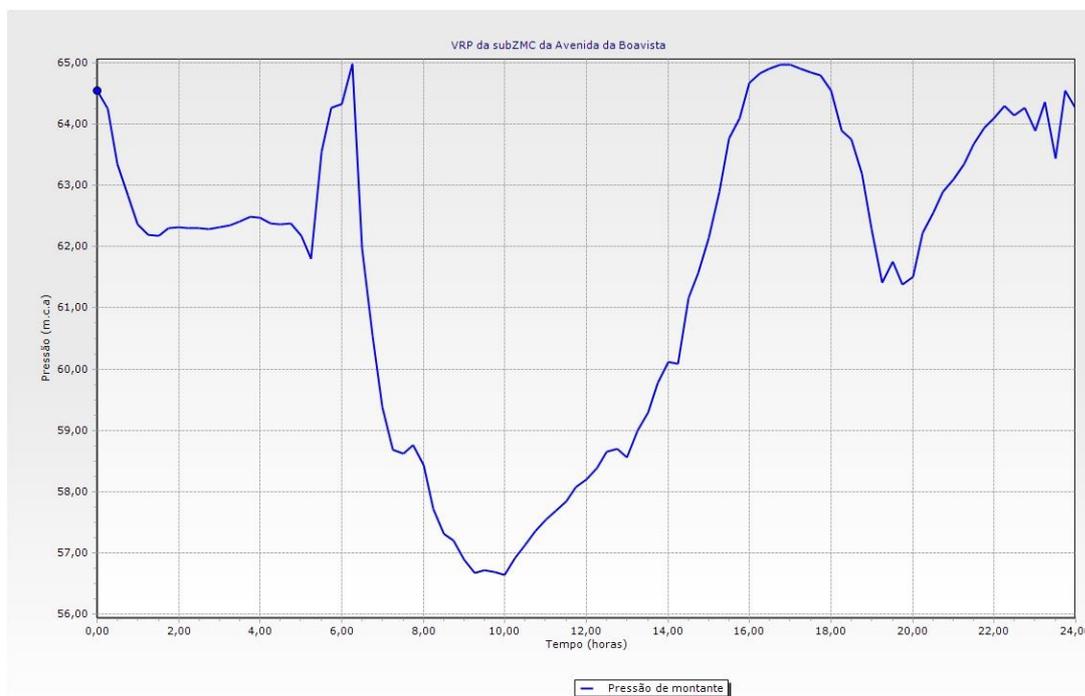


Fig.4. 60 – Pressão à entrada da subZMC da Avenida da Boavista

Mediante o gráfico da Figura 4.60 são constatadas pressões elevadas à entrada da subZMC, o que confirma a necessidade de introdução da VRP da Avenida da Boavista. As pressões nesta zona são demasiadamente elevadas, em comparação com a restante ZMC de Fonte da Moura, oscilando entre 56,63 e 64,98 m.c.a.

Com vista à análise dos benefícios e inconvenientes provocados, em termos teóricos e práticos, pela instalação da modulação pelo ponto crítico, foi crucial a simulação no *WaterGEMS* da modulação horária em vigor. Como tal, utilizaram-se os valores de pressão à saída da válvula, medidos pelo *data logger*, para intervalos de tempo de 15 minutos. Com estes valores e conhecida a pressão máxima de jusante da válvula, sendo esta de 35 m.c.a., foi possível a realização da simulação com a introdução no modelo dos fatores horários multiplicativos previamente calculados de acordo com a expressão matemática 4.1. Estes valores encontram-se no Anexo C da presente dissertação.

Na Figura 4.61 é apresentado o padrão horário e na Figura 4.62 está representada a pressão à saída da VRP.



Fig.4. 61 – Padrão horário utilizado para a modulação horária da VRP da Avenida da Boavista

No gráfico da Figura 4.61 são visíveis fatores horários multiplicativos elevados para o período de menor consumo, ou seja, entre as 0 e as 5,25 horas. Para este intervalo de tempo estes situam-se entre 1,012 e 1,058. Nas restantes horas os fatores horários multiplicativos possuem numerosas oscilações. Contudo, são observáveis dois incrementos neste fator no período de maior consumo, um para as 7,750 e outro para as 13,25 horas, os quais correspondem a fatores horários multiplicativos de 1,034 e 1,022.

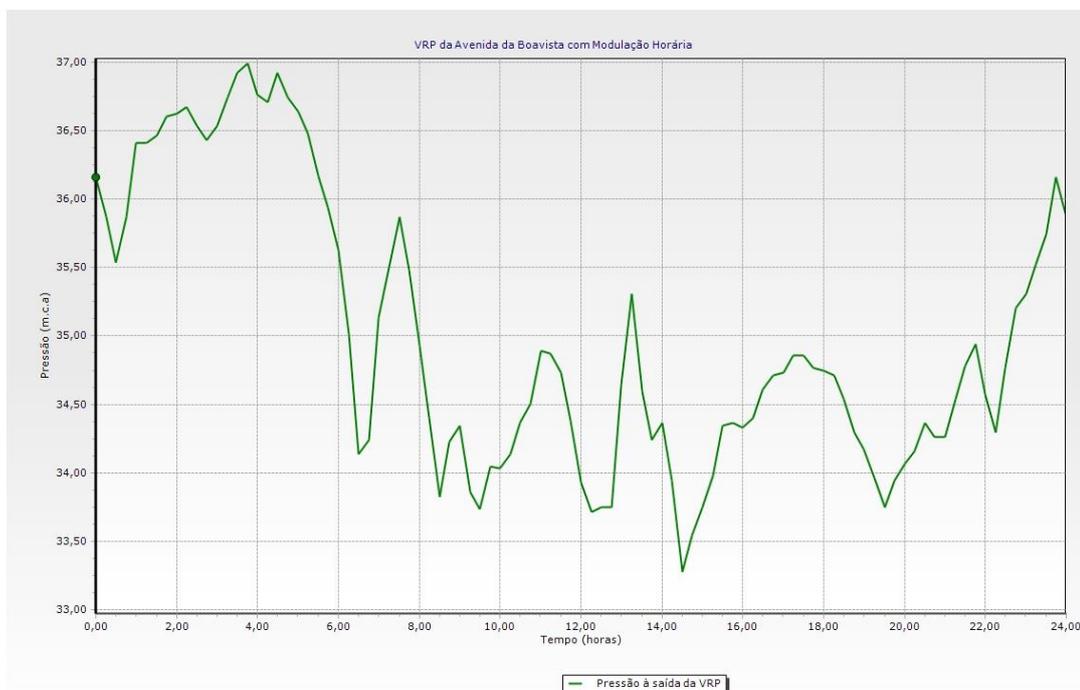


Fig.4. 62 – Pressão à saída da VRP da Avenida da Boavista com modulação horária

De acordo com o gráfico da Figura 4.62 averigua-se que a pressão à saída da VRP para o período de menor consumo é extremamente elevada e superior à pressão para o período de maior consumo, o que não deveria ocorrer. A pressão detém uma oscilação diária entre 33,25 m.c.a. e 37,00 m.c.a. São visíveis dois picos de pressão entre as 7 e as 8 horas e entre as 13 e as 14 horas, os quais correspondem aos períodos da manhã e do almoço.

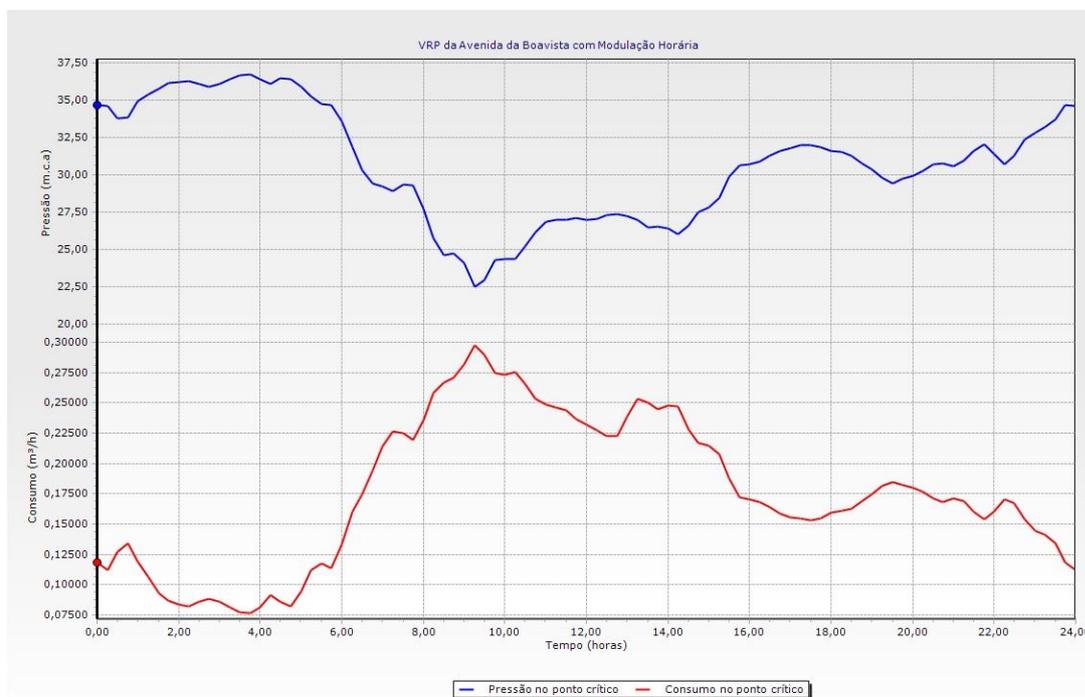


Fig.4. 63 – VRP da Avenida da Boavista com modulação horária

Relativamente ao gráfico da Figura 4.63, acima representado, apura-se que no ponto crítico a pressão é, ao longo do dia, permanentemente superior à pressão mínima exigida legalmente, sendo esta de 20 m.c.a. As pressões mais elevadas são obtidas para as horas de menor consumo, o que releva uma incorreta gestão da pressão no SAA desta zona. O valor mais alto corresponde às 4,75 horas e é de 36,55 m.c.a. Já a pressão mais baixa é conseguida às 9,50 horas e tem um valor de 22,74 m.c.a.

A oscilação no ponto crítico é de 13,81 m.c.a., a qual corresponde a um valor considerável e que poderá ser minimizado. Contudo, encontra-se dentro dos parâmetros impostos pelo Decreto Regulamentar.

Uma medida viável para a otimização destes resultados consiste na adaptação da pressão de jusante aos requisitos em termos de consumo e pressão da rede, o que é alcançado com, de entre outras hipóteses, a reconfiguração da modulação horária. Esta medida considera a definição de um conjunto mais alargado de patamares, contudo tal só é possível com a instalação de um controlador eletrónico. A pressão carece de redução, fundamentalmente, no período noturno, o que incita à minimização das perdas de água reais.

4.6.5. MODULAÇÃO COM UM PONTO CRÍTICO

Com vista à implementação da modulação pelo ponto crítico na VRP da Avenida da Boavista, procedeu-se à sua simulação no *WaterGEMS*. Por conseguinte, foi realizado um padrão horário com a definição de fatores horários multiplicativos que traduzam a pressão à saída da válvula. Estes foram definidos considerando a pressão invariável no ponto crítico e igual a 20 m.c.a., bem como uma pressão máxima de jusante de 35 m.c.a, a qual corresponde ao valor mínimo que garante pressão suficiente no ponto crítico. Os fatores foram determinados para intervalos de tempo de 15 minutos, situando-se entre 0,0 e 1,0. Estes estão presentes no Anexo D desta dissertação. Nos gráficos das Figuras 4.64 e 4.65 é possível visualizar o padrão horário do fator horário multiplicativo e a pressão à saída da válvula.

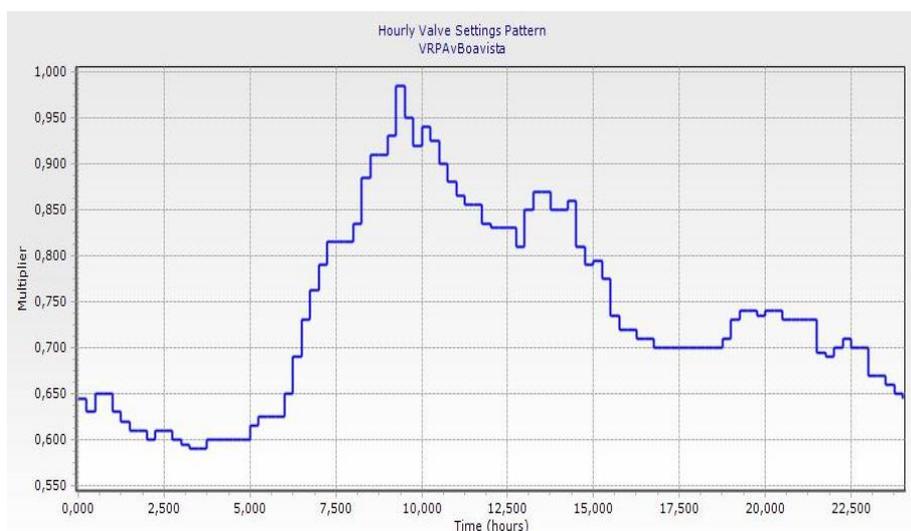


Fig.4. 64 – Padrão horário utilizado para a modulação pelo ponto crítico da VRP da Avenida da Boavista

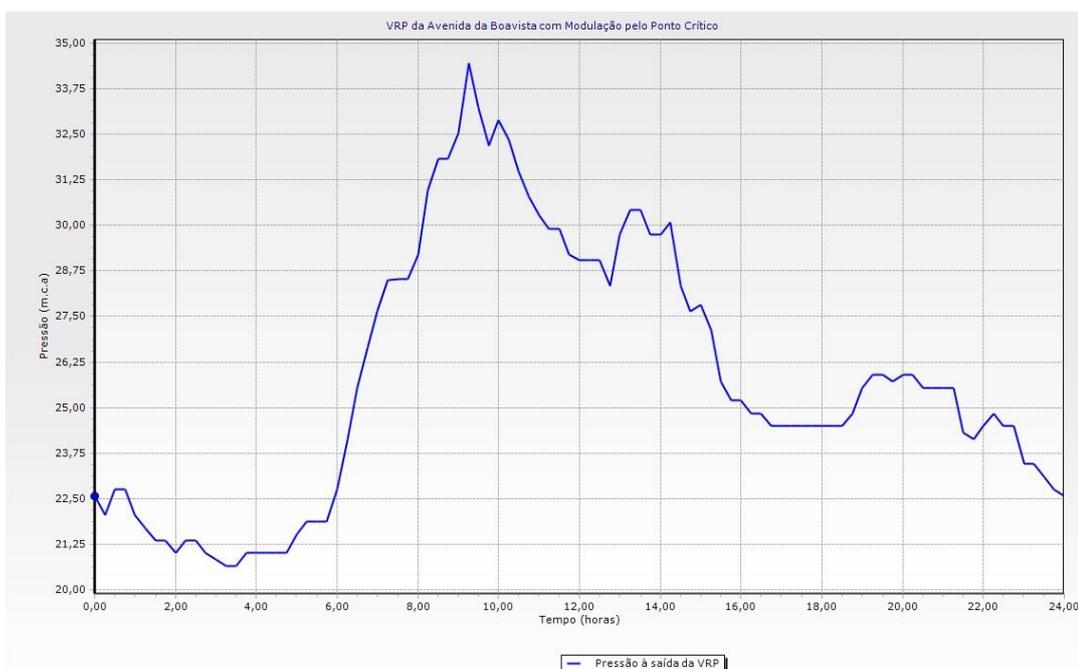


Fig.4. 65 – Pressão à saída da VRP da Avenida da Boavista com modulação pelo ponto crítico

Do gráfico da Figura 4.64 constata-se que o fator horário multiplicativo varia entre 0,590, o qual corresponde ao período horário entre as 3,25 e as 3,5 horas, e 0,985 para as 9,25 horas.

Segundo o gráfico da Figura 4.65 verifica-se que a pressão à saída da válvula flutua entre 20,66 e 34,49 m.c.a., cujos valores correspondem às 3,25 horas e às 9,25 horas. Confirma-se a existência de dois períodos de maior pressão: o primeiro entre as 7 e as 12 horas e o segundo entre as 12 e as 15 horas, tal como seria previsível com a correta modulação desta VPR, na medida em que correspondem aos períodos de maior consumo.

Comparando os gráficos das Figuras 4.64 e 4.65 com o gráfico da Figura 4.55 apura-se que, o padrão horário multiplicativo e a pressão à saída da válvula apresentam um perfil semelhante ao gráfico do consumo na subZMC. Este facto deve-se à apropriação dos controlos da VPR aos requisitos de consumo da rede.

No gráfico da Figura 4.66 está representada a variação diária da pressão no ponto crítico. A simulação efetuada considerou a pressão no ponto crítico próxima de 20 m.c.a., apesar da pressão mínima regulamentar ser de 18 m.c.a. Contudo, esta corresponde ao valor que confere um abastecimento contínuo e suficiente à população.

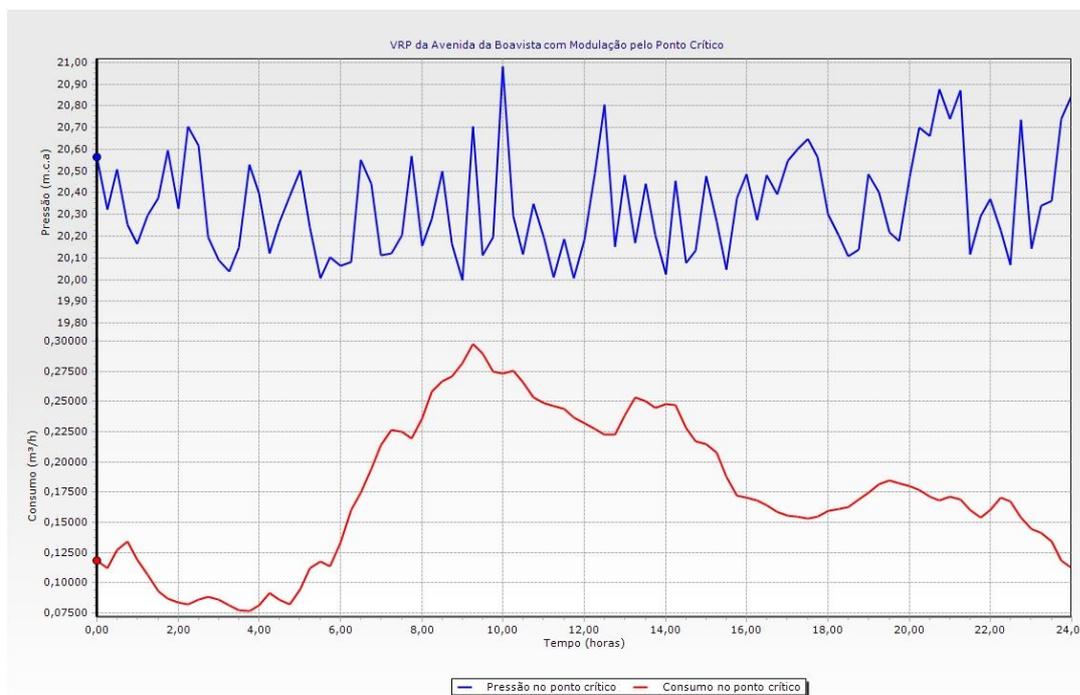


Fig.4. 66 – VRP da Avenida da Boavista com modulação pelo ponto crítico

Conforme o gráfico da Figura 4.66 verifica-se que a pressão no ponto crítico varia entre 20,00 m.c.a. e 20,98 m.c.a., o que consiste numa flutuação diária praticamente nula, como previsível. Em virtude, é reduzida a probabilidade de ocorrência de fugas e roturas na rede de distribuição. Esta consequência consiste num dos principais privilégios da modulação pelo ponto crítico. Do mesmo modo, a pressão no ponto crítico é constantemente próxima da pressão mínima requerida para este local, o que faz com que sejam reduzidas as perdas de água reais.

A implementação da modulação pelo ponto crítico na VRP da Avenida da Boavista requer um *data logger*, capaz de realizar a leitura e o encaminhamento dos valores medidos no ponto crítico até ao controlador eletrónico, o qual ordena o acionamento da válvula, proporcionando a redução da pressão de jusante em função das necessidades

Uma vez que o ponto crítico, segundo o qual foram realizadas as simulações, não possui um *data logger*, foi crucial determinar qual a pressão necessária no equipamento mais próximo, com vista à implementação, no terreno, deste sistema redutor. Como tal, a pressão no equipamento foi determinada tendo como obrigatoriedade a permanência de 22 m.c.a. no ponto crítico.

O *data logger* mais próximo situa-se no cruzamento entre a Rua do Molhe e a Rua de Côrte Real e encontra-se a uma altura topográfica de 35,98 m.c.a. Os resultados obtidos estão apresentados no gráfico da Figura 4.67.

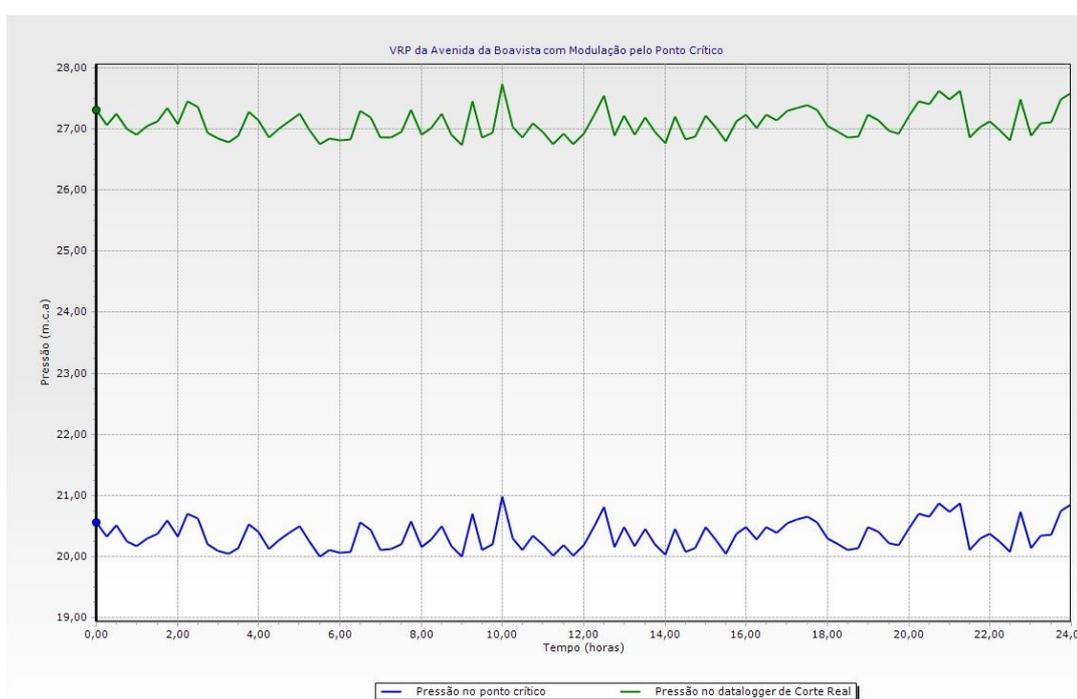


Fig.4. 67 – Pressão no ponto crítico e no *data logger* com a modulação pelo ponto crítico aplicada à VRP da Avenida da Boavista

Segundo o gráfico da Figura 4.67 constata-se a que pressão flutua entre 26,74 e 27,73 m.c.a. no *data logger*. Consequentemente, no equipamento deve ser programada uma pressão situada entre 26 e 28 m.c.a., devendo a VRP operar de modo a garantir continuamente esta gama de pressão no local.

4.6.6. ANÁLISE COMPARATIVA

A implementação da modulação pelo ponto crítico possui vantagens e desvantagens relativamente à modulação horária. Todavia, no que respeita à redução da pressão na zona e da sua variação diária a modulação pelo ponto crítico é mais vantajosa.

No gráfico da Figura 4.68 são visíveis tais constatações.

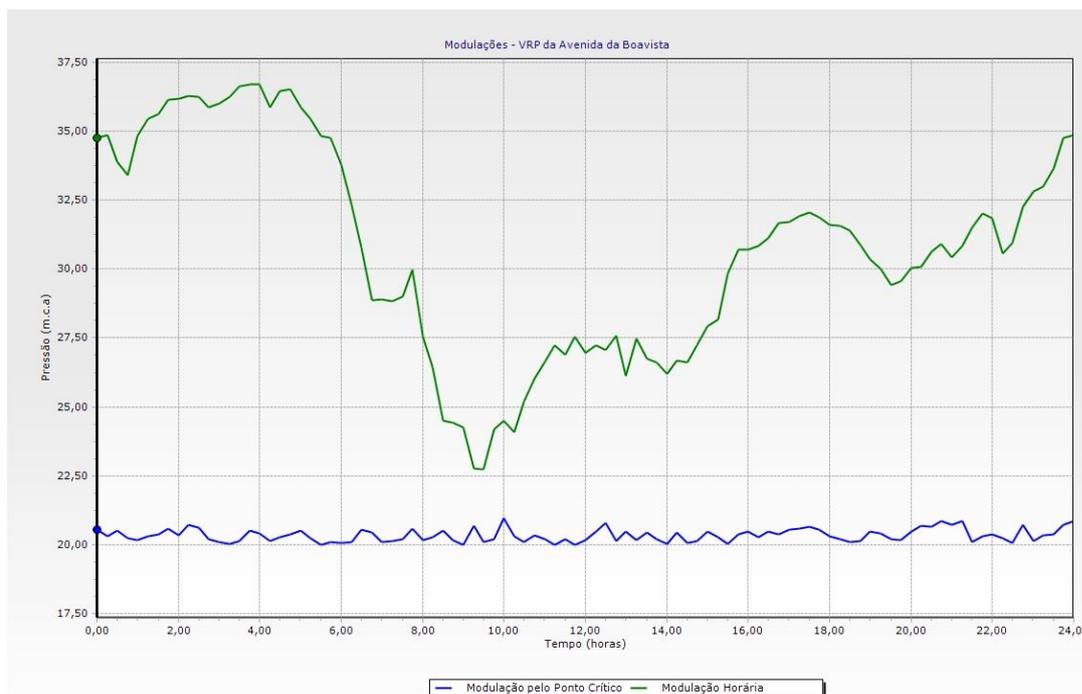


Fig.4. 68 – Pressão no ponto crítico para as modulações estudadas da VRP da Avenida da Boavista

Numa análise ao gráfico da Figura 4.68 depreende-se que, a modulação pelo ponto crítico é deveras mais eficaz do que a modulação horária em matéria de redução da pressão e da sua flutuação. Consequentemente, é alcançada uma menor probabilidade de ocorrência de roturas na rede, aumentando o tempo de vida útil das infraestruturas, o que reduz a sua necessidade de reparação ou substituição.

Com a modulação pelo ponto crítico verifica-se uma elevada redução da pressão relativamente à modulação horária, o que origina volumes inferiores de água perdida. A redução da pressão assume uma maior importância para o período de menor consumo (entre as 0 e as 6 horas), a qual equivale a 16 m.c.a.

A modulação pelo ponto crítico possui algumas desvantagens substanciais, nomeadamente a maior dificuldade na deteção de fugas, já que a redução da pressão proporciona caudais mais reduzidos, impedindo o seu afloramento até à superfície. O principal inconveniente prende-se com o facto da existência de uma rotura na rede conduzir à diminuição da pressão, fazendo a válvula aumentar a pressão de jusante e contribuir para o aumento do volume de água perdida através desta.

A implementação da modulação pelo ponto crítico na VRP da Avenida da Boavista exige a instalação de um controlador na válvula o que origina custos de investimento, apesar de diminutos em comparação com os benefícios económicos obtidos.

A otimização da modulação horária é uma medida igualmente viável. Contudo, exige um aprofundado conhecimento da geometria da rede, do perfil das pressões e do histórico dos consumos. Esta necessita, tal como a modulação pelo ponto crítico, a instalação de um controlador eletrónico.

Independentemente da modulação instalada, ambas possuem vantagens e desvantagens devendo, num futuro próximo, proceder-se à realização de testes, com vista à determinação da mais eficaz para a

zona em questão. Todas as modulações são vantajosas em matéria de redução da pressão, contudo a seleção da modulação deve ser função das características da zona.

4.6.7. MODULAÇÃO COM TRÊS PONTOS CRÍTICOS

O sistema redutor operado com modulação pelo ponto crítico permite a comunicação com mais do que um *data logger*. Deste modo, a VRP recebe indicações de vários pontos da rede, o que permite a redução e a estabilização da pressão em múltiplos setores da zona.

Consequentemente, foi executada uma simulação com vista à determinação da pressão necessária nos equipamentos de Nevogilde e de Meixomil, baseando-se a instalação da modulação pelo ponto crítico no terreno nos resultados obtidos. Os *data loggers* foram instalados pela Águas do Porto, EM, enquadrando-se no sistema de monitorização da rede de distribuição, estando localizados em zonas críticas da subzona.

Os *data loggers* de Nevogilde e de Meixomil estão localizados a uma cota de 24,42 m e de 34,93 m, respetivamente.

No gráfico da Figura 4.69 é visível a variação da pressão no ponto crítico e para os três *data loggers* da subZMC da Avenida da Boavista.

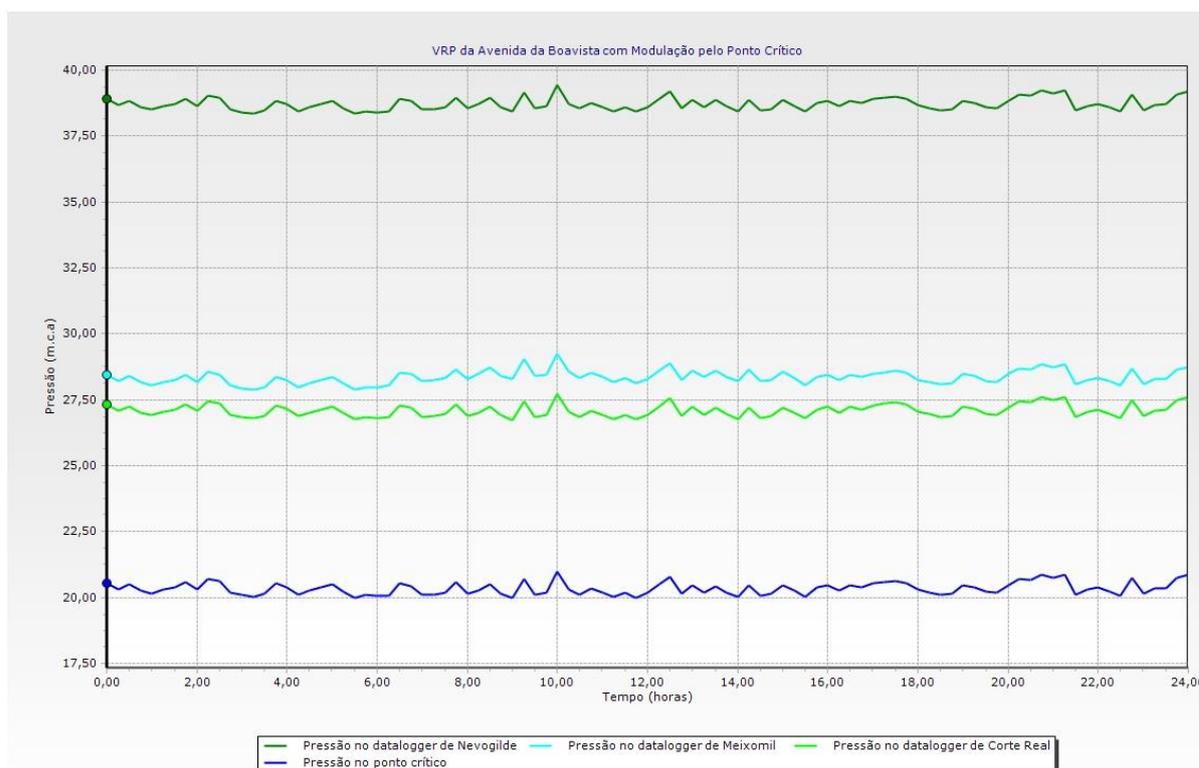


Fig.4. 69 – Pressão no ponto crítico e nos *data loggers* de Nevogilde, Côrte Real e Meixomil

Em análise ao gráfico da Figura 4.69 depreende-se que, para a manutenção de uma pressão no ponto crítico de, sensivelmente, 20 m.c.a. a pressão no *data logger* de Nevogilde varia entre 38,36 e 39,43 m.c.a. Estes valores são consideravelmente elevados, já que a altitude nesta zona é bastante mais

reduzida do que nos outros dois pontos de medição. No que respeita ao ponto de medição de Meixomil verifica-se uma oscilação da pressão entre 27,88 e 29,24 m.c.a.

Em suma, nos *data loggers* de Nevogilde e Meixomil a pressão deverá situar-se entre 38 e 40 m.c.a. e entre 27 e 30 m.c.a., respetivamente. Os equipamentos devem ser programados tendo em apreciação estas considerações, já que o estabelecimento de valores inferiores impede o cumprimento da pressão mínima regulamentar no ponto mais crítico da subZMC, colocando em risco o abastecimento de água contínuo e suficiente à população.

4.6.8. INSTALAÇÃO DA MODULAÇÃO COM UM PONTO CRÍTICO

Tendo em consideração os objetivos propostos nesta dissertação, posteriormente à realização das simulações no *software*, procedeu-se à implementação da modulação pelo ponto crítico no terreno. Consequentemente, foi possível constatar qual a fiabilidade do mais recente sistema reductor, dependendo esta da redução e da oscilação da pressão alcançadas.

Posto isto, na Figura 4.70 está ilustrado o funcionamento da VRP da Avenida da Boavista modulada pelo ponto crítico.

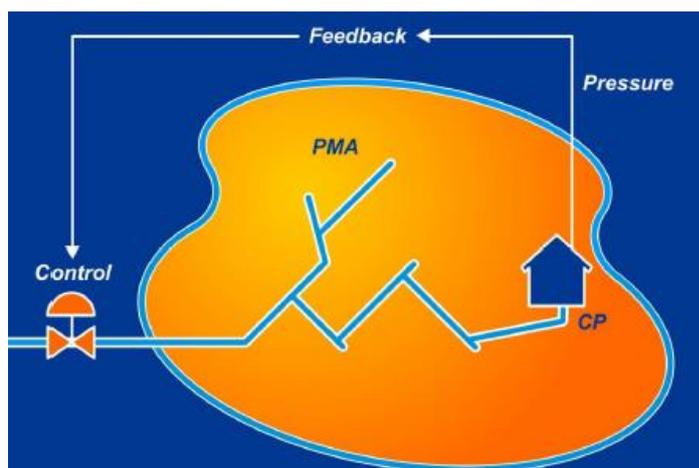


Fig.4. 70 – Funcionamento do controlo avançado de pressão com recurso a um ponto crítico (Technolog, 2012)

Na implementação da modulação pelo ponto crítico foi necessário proceder à alteração da metodologia de funcionamento da VRP da Avenida da Boavista e, posto isto, instalou-se um controlador eletrónico, com capacidade de comunicação, no tempo, com o *data logger* de Côte Real. Este equipamento permite, ainda, a configuração das modulações simples, horária e pelo caudal, bem como o estabelecimento de uma modulação simultânea com vários pontos críticos. O controlador foi programado de forma a obedecer às ordens encaminhadas pelo *data logger* de Côte Real e, deste modo, foi estabelecida a conexão entre estes dois equipamentos, com transmissão de dados via *Short Message Service* (SMS).

Em virtude das simulações realizadas, no *data logger* de Côte Real foram definidos os valores de pressão requeridos nesse local, considerando as necessidades de consumo constantes de dia para dia. Deste modo, foram programados dois patamares de pressão, a saber: 28 m.c.a. entre as 7 e as 21 horas e 25 m.c.a. entre as 22 e as 6 horas. Estes valores foram definidos em correlação com as simulações

realizadas, ou seja, com a necessidade de pressão no local onde está o equipamento. Todavia, para as horas de menor consumo considerou-se que uma pressão de 25 m.c.a. é o suficiente, já que para este período de tempo o consumo corresponde quase na sua totalidade a perdas de água reais. Além disso, houve uma maximização da pressão requerida no ponto crítico de 18 para 20 m.c.a., pelo que esta diminuição na pressão noturna solicitada é viável.

Uma vez que o sistema redutor possui uma tolerância de $\pm 1,0$ m.c.a, o *data logger* apenas envia um sinal ao controlador eletrónico para valores de pressão exteriores às seguintes gamas:

- Pressões compreendidas entre 27 e 29 m.c.a das 7 às 21 horas;
- Pressões compreendidas entre 24 e 26 m.c.a das 22 às 6 horas.

Posto isto, neste sistema, é definido um perfil diário de pressão, o qual possui dois valores limite, um mínimo e um máximo. Quando a pressão medida pelo *data logger* no ponto crítico é inferior ao limite mínimo ou superior ao limite máximo fixados é enviado um alarme ao controlador, o qual faz a válvula diminuir ou aumentar a perda de carga induzida ao escoamento. Por sua vez, a pressão de jusante é aumentada ou diminuída, bem como a pressão na totalidade da rede de distribuição, incluindo o ponto crítico. Posteriormente à resposta provocada por um alarme, caso a pressão no ponto crítico ainda se mantenha fora da gama de pressões configurada, o *data logger* envia novamente um alarme ao controlador, incrementando a perda de carga induzida pela válvula. Este sistema prossegue até que a pressão no ponto crítico estabilize nos valores definidos. Na Figura 4.71 é possível visualizar a VRP da Avenida da Boavista com o controlador eletrónico acoplado.



Fig.4. 71 – VRP da Avenida da Boavista com modulação pelo ponto crítico

Como sistema de segurança foi definido um padrão horário para situações em que haja falha de comunicação entre o controlador e o *data logger*, passando a válvula a funcionar com uma modulação horária. É importante referir que por omissão a VRP poderá ainda funcionar com modulação simples. Os valores de pressão à saída da válvula, definidos para cada hora, para a modulação horária estão presentes no Quadro 4.12, apresentado em seguida.

Quadro 4. 12 – Modulação horária da VRP da Avenida da Boavista

Horas	Pressão Jusante (m.c.a.)
0	30,0
[1; 5]	25,0
6	30,0
[7; 14]	41,0
[15; 21]	35,0
[22; 23]	30,0

Os valores presentes no Quadro 4.12 foram determinados em função da pressão à saída da VRP com a modulação horária para dois patamares de pressão. Verifica-se que no período noturno, ou seja, entre a uma e as 5 horas foi definida uma pressão à saída da válvula de 25,0 m.c.a. Para as horas de maior consumo, as quais correspondem ao intervalo entre as 7 e as 14 horas, a pressão à saída da válvula foi configurada para 41,0 m.c.a.

4.6.8.1. Resultados Obtidos

Seguidamente à instalação da modulação pelo ponto crítico, através do PMAC, o qual consiste no *software* envolvido no sistema de monitorização, obtiveram-se os resultados em virtude da alteração realizada no funcionamento da válvula. No gráfico da Figura 4.72 está representada a pressão a montante e a jusante, bem como o caudal escoado com a implementação da modulação pelo ponto crítico.

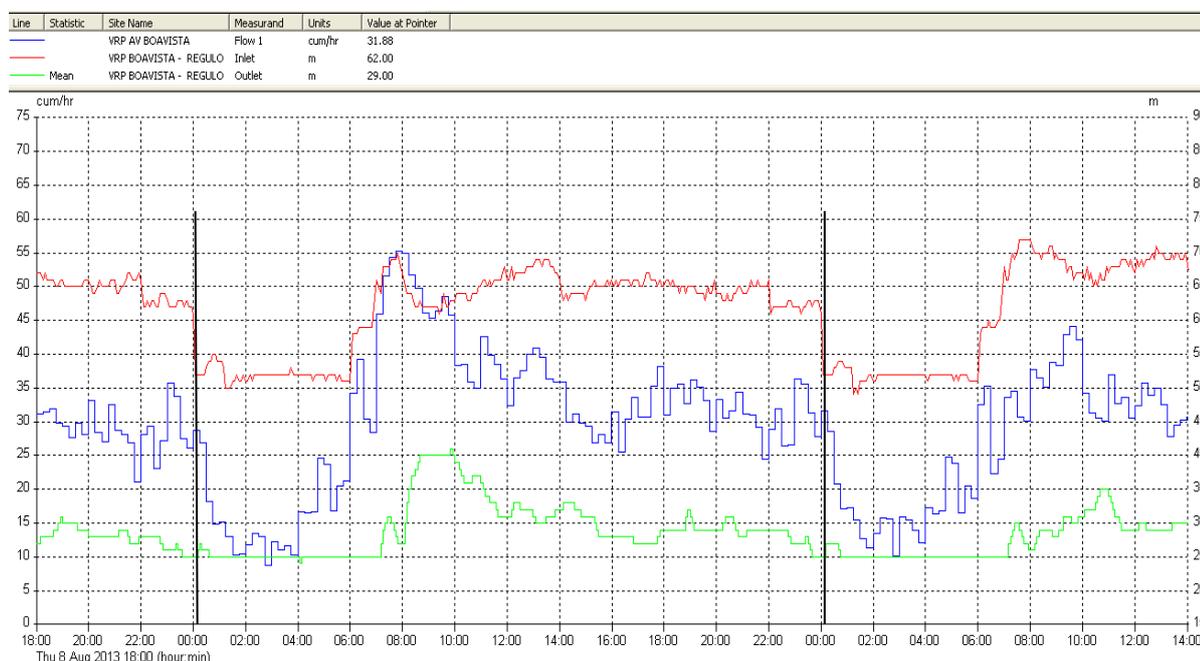


Fig.4. 72 – Caudal e pressão à entrada e à saída da VRP da Avenida da Boavista com modulação pelo ponto crítico

De acordo com o gráfico da Figura 4.72 constata-se que, para o período assinalado, o caudal escoado através na VRP varia entre 10 e 55 m³/h, sensivelmente. Este é mínimo para o período noturno, entre as 0 e as 6 horas, e máximo para as 8 horas.

Quanto à pressão a montante da VRP esta é dependente do funcionamento da válvula do ponto de entrega de Fonte da Moura, bem como das variações de pressão e de consumo da restante rede, verificando-se uma flutuação diária entre 50 e 70 m.c.a. No período de menor consumo, entre as 0 e as 6 horas, a pressão é em média de 53 m.c.a. Às 8 horas a pressão à entrada da válvula é máxima alcançando 70 m.c.a., isto porque os requisitos de pressão são mais elevados devido ao maior consumo.

No que respeita à pressão à saída da válvula esta mantém-se constante e igual a 25 m.c.a. para o período noturno. Como o consumo no ponto crítico é praticamente nulo para estas horas do dia, a válvula tende a realizar um movimento descendente do obturador, aumentando a perda de carga induzida ao escoamento. Todavia, às 7 horas a pressão à saída da válvula aumenta até 40 m.c.a., entre as 9 e as 10 horas, com vista à satisfação das necessidades de pressão no ponto crítico, bem como em toda a rede de abastecimento de água. Consequentemente, a VRP induz uma menor perda de carga ao escoamento, existindo um aumento do caudal e da pressão. Entre as 10 e as 22 horas a pressão a jusante decresce continuamente, apesar de se verificarem algumas oscilações, as quais são função dos alarmes enviados pelo *data logger*.

No gráfico da Figura 4.73 está representada a pressão no *data logger* de Côte Real com a VRP modulada para dois patamares horários e pelo ponto crítico.

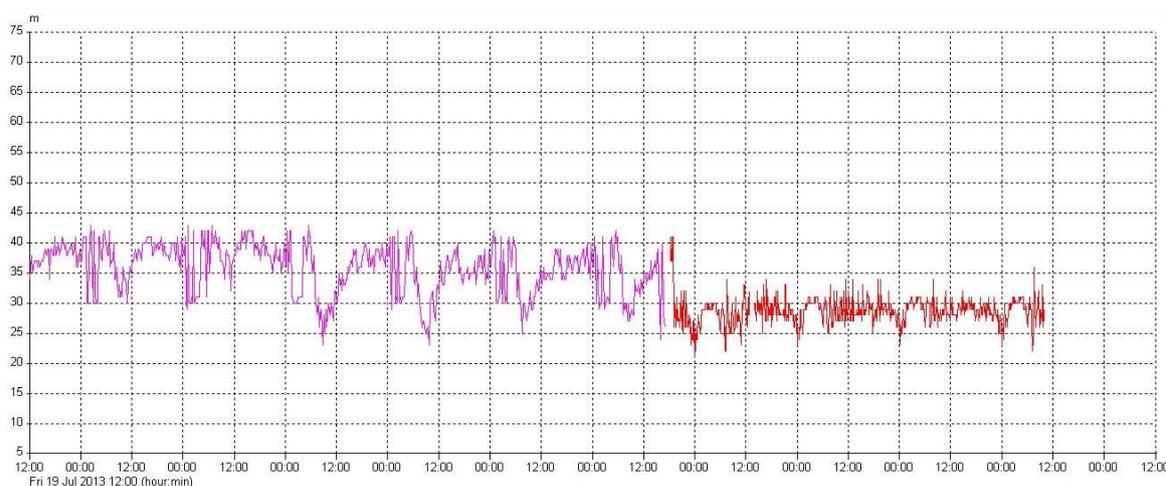


Fig.4. 73 – Pressão no *data logger* de Côte Real com as modulações horária (em cor-de-rosa) e pelo ponto crítico (a vermelho) da VRP da Avenida da Boavista

A partir do gráfico da Figura 4.73 depreende-se um decréscimo acentuado da pressão e da sua flutuação diária em Côte Real, logo após a implementação da modulação pelo ponto crítico. Isto reflete a obtenção de enormes e importantes benefícios para a EG com a diminuição do desgaste transversal das condutas e da probabilidade de ocorrência de roturas na rede. Com a modulação horária a pressão no ponto crítico oscilava entre 24 e 43 m.c.a., porém com a modulação pelo ponto crítico verifica-se uma variação máxima entre 22 e 35 m.c.a., permanecendo, em grande parte do tempo, entre 25 e 30 m.c.a. Estes resultados devem-se ao facto da modulação pelo ponto crítico acompanhar as variações da pressão que se fazem sentir na rede de abastecimento de água. Em

contrapartida, a modulação horária apresenta um carácter estático, independentemente dos requisitos de consumo e pressão.

No gráfico da Figura 4.74 é visível a pressão no *data logger* de Côte Real com a VRP modulada pelo ponto crítico. As linhas a verde são representativas dos valores de pressão que se deveriam fazer sentir em Côte Real.

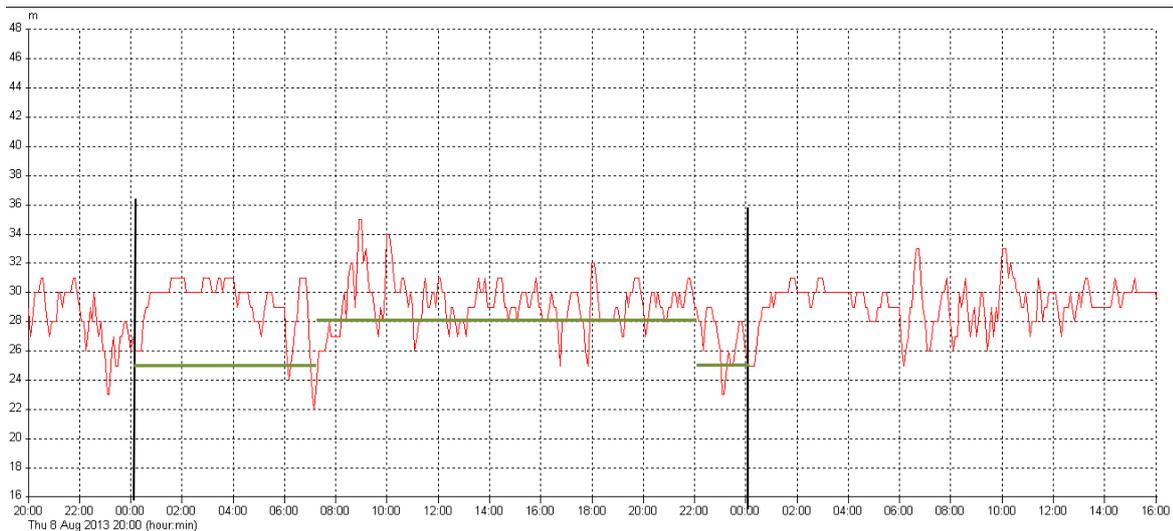


Fig.4. 74 – Pressão no *data logger* de Côte Real com a modulação pelo ponto crítico da VRP da Avenida da Boavista

Mediante o gráfico da Figura 4.74 averigua-se que, para o período assinalado, a pressão possui um número de oscilações consideráveis, o que não é exetável, de acordo com a literatura, neste tipo de sistema redutor. Igualmente, verifica-se que a pressão afasta-se dos valores configurados no *data logger* para os períodos de menor e maior consumo.

Estes factos podem ser devidos a vários fatores, relacionados com as características do sistema redutor, bem como a natureza da rede de distribuição, a saber:

- A resposta do sistema redutor às exigências de pressão do *data logger* no ponto crítico não é imediata, existindo inevitavelmente um atraso temporal associado. Este depende de vários fatores: consumos na rede, capacidade de resposta do equipamento, distância física entre o *data logger* no ponto crítico e o controlador ligado à VRP e sistema de transmissão de dados;
- Existe um erro de medição inerente ao *data logger* de ± 2 m.c.a. e um outro relativo à VRP de ± 1 m.c.a.;
- Necessidade de comunicação da válvula com mais do que um *data logger*, isto porque a existência de apenas um equipamento de medição pode não ser representativo das necessidades de pressão em toda a rede;
- A VRP aumenta ou diminui a perda de carga induzida ao escoamento segundo um método de tentativa-erro. A perda de carga necessária para reduzir ou aumentar a pressão no ponto crítico não é na sua totalidade, imediatamente, empregue à válvula, até porque esta não tem conhecimento do quando é necessário aplicar.
- A existência de uma tolerância, com um limite máximo e mínimo, apesar de diminuta, aumenta a flexibilidade dos valores de pressão no ponto crítico.

É possível concluir que, a modulação pelo ponto crítico aplicada possui, ainda, algumas lacunas. Todavia, é importante salientar que os valores de pressão obtidos estão dentro do histórico da Águas do Porto, EM, tendo-se verificado a inexistência de reclamações. Assim, admite-se que, apesar da pressão ter sido consideravelmente reduzida, esta é suficiente para cobrir as necessidades da rede.

No gráfico da Figura 4.75 está ilustrada a variação diária do consumo mínimo, o qual é afeto ao período noturno.

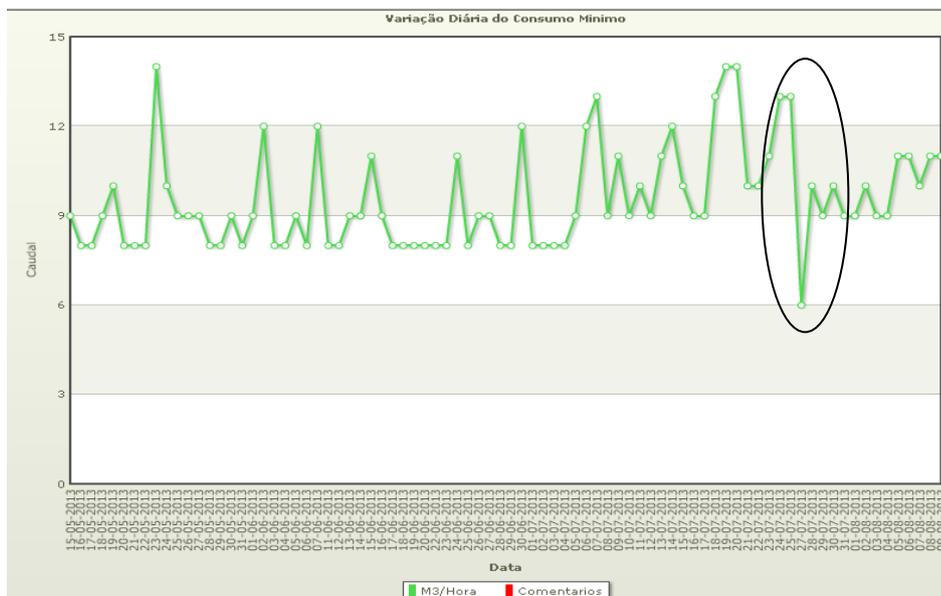


Fig.4. 75 – Consumo mínimo registado com as modulações horária e pelo ponto crítico da VRP da Avenida da Boavista

Constata-se através do gráfico da Figura 4.75 uma redução de 13 m³/h para 6 m³/h após a introdução da modulação pelo ponto crítico. Posteriormente, houve uma estabilização do sistema com um aumento do caudal para um valor médio de 9,2 m³/h.

Verifica-se uma redução considerável do caudal mínimo noturno e, conseqüentemente, do volume de água perdida no sistema, já que este é, quase na sua totalidade, correspondente a desperdícios.

É possível concluir que houve uma redução do volume de água perdida, nomeadamente pelas fugas ainda não detetadas, das quais fazem parte as fugas invisíveis. Contudo, este facto pode tornar-se num inconveniente, já que é aumentada a dificuldade de deteção pelo difícil afloramento até à superfície. Por conseguinte, deve ser incrementado o CAP nesta zona. É, do mesmo modo, previsível a redução da probabilidade da ocorrência de fugas e roturas na rede de abastecimento de água, em virtude da redução da pressão e, essencialmente, da sua flutuação diária.

4.6.9. INSTALAÇÃO DA MODULAÇÃO COM DOIS PONTOS CRÍTICOS

Uma vez que a instalação da modulação com um ponto crítico na VRP da Avenida da Boavista se revelou menos eficaz do que o esperado, numa tentativa de otimização do sistema, foi implementada a modulação com dois pontos críticos.

Deste modo, no terreno, estabeleceu-se a conexão entre o *data logger* de Nevogilde e o controlador eletrónico da válvula. Em concordância com as simulações realizadas foram definidos dois patamares de pressão: um de 37 m.c.a para o período de menor consumo, entre as 22 e as 6 horas, e um outro de 40 m.c.a para o período de maior consumo, entre as 7 e as 21 horas.

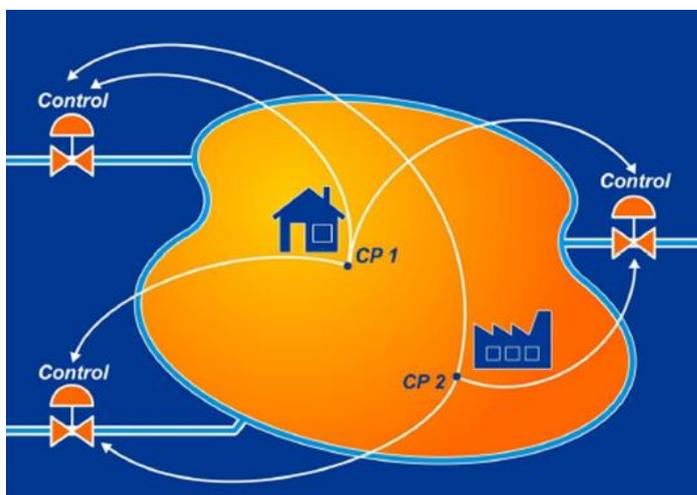


Fig.4. 76 – Funcionamento do controlo avançado de pressão com dois pontos críticos (Technolog, 2012)

Na modulação com dois pontos críticos o sistema redutor responde aos alarmes enviados por ambos os *data loggers*, por ordem de chegada.

4.6.9.1. Resultados Obtidos

Posteriormente à implementação da modulação com dois pontos críticos, obtiveram-se os resultados fornecidos pelo PMAC, os quais estão apresentados nas Figuras 4.77 e 4.78. Na Figura 4.77, apresentada em seguida, está patente a pressão nos *data loggers* de Côte Real e de Nevogilde antes e após a instalação das modulações com um e com dois pontos críticos.

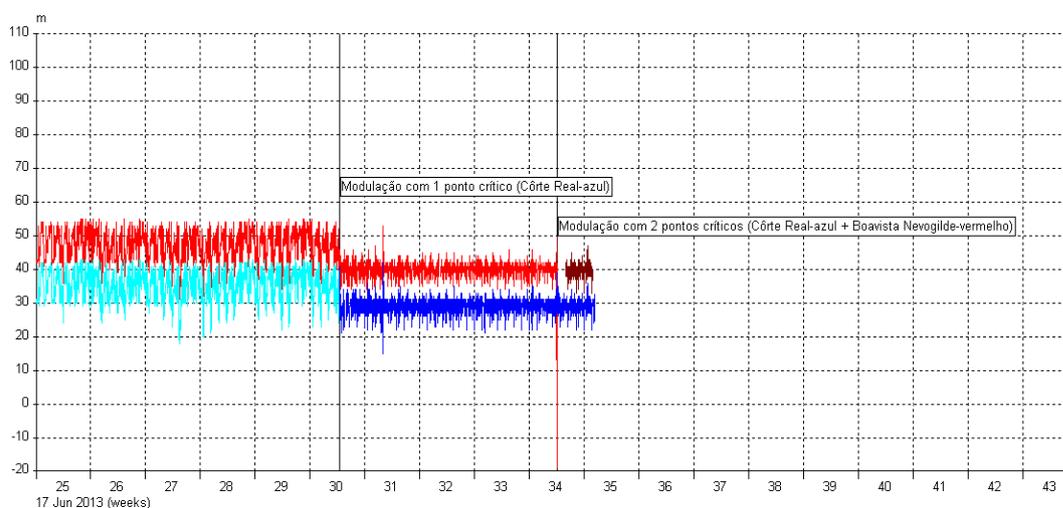


Fig.4. 77 – Pressão nos *data loggers* de Côte Real e de Nevogilde com a instalação das modulações com um e com dois pontos críticos na VRP da Avenida da Boavista

De acordo com o gráfico da Figura 4.77 é possível concluir que a instalação da modulação com um ponto crítico originou uma redução representativa da pressão e da sua oscilação em Côte Real, bem como em Nevogilde, tal como o esperado. Contudo, a implementação da modulação com dois pontos críticos não revela benefícios em relação à modulação com apenas um ponto crítico, dado que o perfil diário de pressões é conservado. Estas constatações estão, igualmente, ilustradas no gráfico da Figura 4.78, onde está representada a variação da pressão em Nevogilde, anteriormente e posteriormente à implementação da modulação com dois pontos críticos.

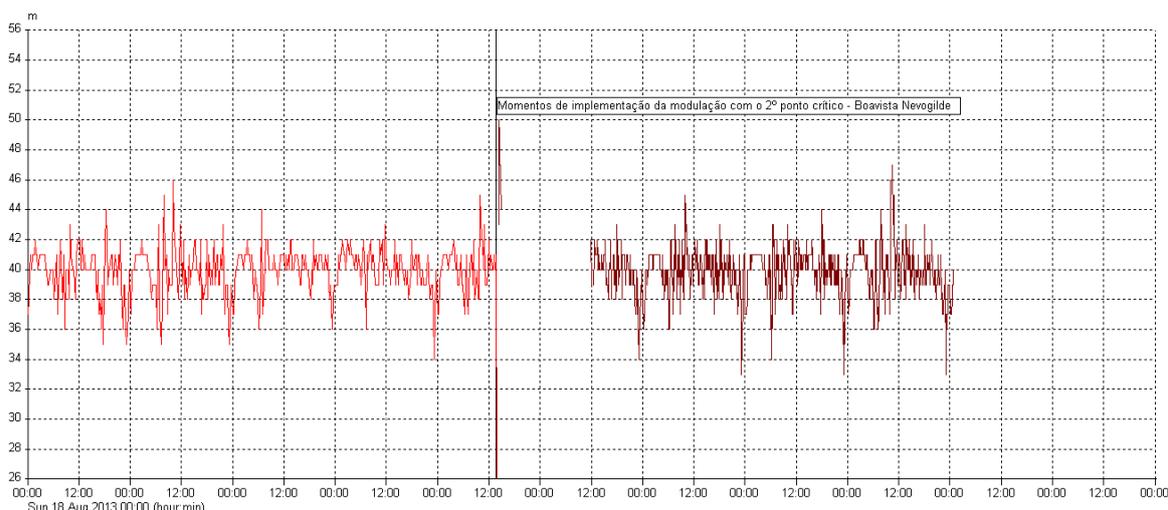


Fig.4. 78 – Pressão no *data logger* de Nevogilde com as modulações com um e com dois pontos críticos da VRP da Avenida da Boavista

Relativamente ao gráfico da Figura 4.78 verifica-se que a variação diária da pressão não sofreu modificações representativas, fruto da atualização da modulação da VRP com mais um ponto crítico. Averigua-se, assim, que o aumento do número de pontos críticos nesta zona não acarreta benefícios. Esta constatação pode ser devida ao facto da subZMC da Avenida da Boavista ser de reduzida dimensão, o que faz com que as exigências de pressão sejam sensivelmente constantes nos vários locais.

Uma vez que este sistema redutor é sensível à modificação das exigências de pressão na rede de abastecimento de água, a ocorrência de um acontecimento pontual nas proximidades de um dos pontos críticos permite apurar a sua eficácia.

No gráfico da Figura 4.79 está ilustrada a variação diária da pressão no *data logger* de Nevogilde, sendo evidenciadas a cor verde as pressões configuradas no sistema redutor para este local.

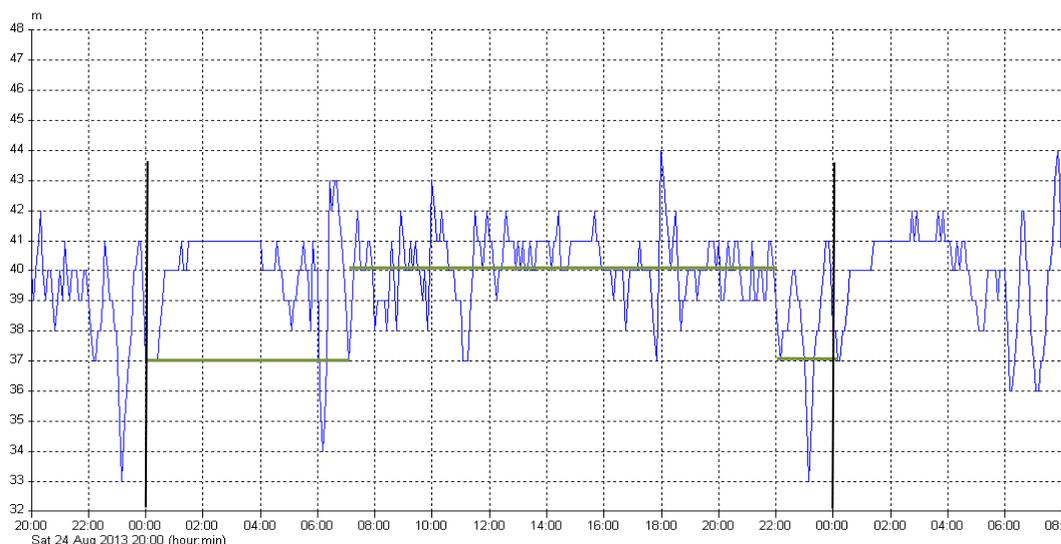


Fig.4. 79 – Pressão no *data logger* de Nevogilde com a modulação pelo ponto crítico da VRP da Avenida da Boavista

No que respeita ao gráfico da Figura 4.79 constata-se que existe um afastamento considerável dos valores de pressão em relação aos configurados para Nevogilde o que, tal como para Côte Real, não corresponde ao previsível para a modulação pelo ponto crítico. Todavia, esta divergência pode ser explicada pelo próprio funcionamento do sistema, visto que a VRP não tem conhecimento da perda de carga que deve induzir ao escoamento, atuando faseadamente segundo vários patamares.

4.6.10. CONCLUSÕES

Da implementação da modulação pelo ponto crítico na VRP da Avenida da Boavista foi possível concluir que esta acarreta importantes benefícios, em virtude da consequente redução acentuada da pressão e da sua flutuação. Em resultado, este sistema redutor contribui para a diminuição da probabilidade de ocorrência de avarias na rede de distribuição de água e do volume de água perdida pelas fugas de difícil deteção, o que origina perdas de água reais bem mais reduzidas.

A inserção de mais um ponto crítico no sistema redutor não influencia a sua eficácia. Deste modo, na subZMC da Avenida da Boavista a modulação com apenas um ponto crítico é, muito provavelmente, o suficiente para que sejam satisfeitos os requisitos mínimos de pressão da zona. Contudo, deve ser estudada a implementação de outros pontos críticos, os quais podem ser mais vantajosos.

5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. CONCLUSÃO

A presente dissertação teve o principal enfoque no estudo de vários tipos de modalidades de funcionamento e controlo de VRP, mais concretamente nos diferentes tipos de modulação, a saber: modulação simples, modulação horária, modulação pelo caudal e modulação pelo ponto crítico. Por conseguinte, tomou-se como objetos de estudo a VRP localizada no ponto de entrega de Fonte da Moura e a VRP da Avenida da Boavista.

Para a VRP de Fonte da Moura conclui-se que a modulação pelo ponto crítico é a mais vantajosa, já que confere valores de pressão a jusante bem mais reduzidos, próximos do requerido legalmente e, fundamentalmente, mais estáveis. Em virtude, a probabilidade de ocorrência de fugas e roturas na rede de abastecimento de água é reduzida devido ao menor desgaste transversal das infraestruturas associadas. Consequentemente, é reduzido o volume de água perdida e o tempo de vida útil das condutas, ramais e outros órgãos acessórios aumenta. Do mesmo modo, o volume de água perdida pelas fugas dificilmente detetáveis é minimizado, todavia isto poderá ser desvantajoso, uma vez que a redução da pressão dificulta mais o seu afloramento até à superfície, tornando-se de deteção ainda mais dificultada. Posto isto, conjuntamente com a redução da pressão deverá ser reforçada a estratégia do CAP.

Outra solução passa pela otimização da modulação horária, a qual consiste na definição de patamares de pressão à saída da VRP mais reduzidos e em maior número, adaptados à variação do consumo segundo o respetivo histórico. No que respeita à modulação pelo caudal esta apresenta uma considerável oscilação da pressão na rede, devido à complexidade na definição dos controlos. Comparativamente com os restantes tipos de modulação, a modulação simples não pondera quaisquer variações diárias do consumo total na rede, mantendo um valor fixo de pressão à saída da VRP ao longo do tempo para qualquer circunstância. Na existência de um consumo pontual elevado, como é o caso de um incêndio, a válvula apresenta uma diminuta capacidade de resposta. Em consequência, a modulação simples apenas é aconselhada para zonas de intervenção com dimensões relativamente reduzidas e em que a variação diária do consumo é diminuta.

Relativamente às perdas de água reais, constata-se que a modulação pelo ponto crítico possui resultados de carácter financeiro e ambiental mais benéficos para a EG, comparativamente com as restantes modulações. Como tal, de acordo com o estudo realizado é possível o alcance de poupanças anuais de 13597 €, as quais compensam o investimento realizado na otimização da válvula, sendo o período de retorno praticamente imediato.

Da análise realizada em virtude da comparação dos resultados obtidos para cada modulação com EG sem monitorização suficiente, conclui-se que o conhecimento aproximado da variação diária do consumo é o suficiente para modelar corretamente uma VRP e determinar qual a modulação mais viável. Deste modo, os volumes de água perdida e as poupanças anuais obtidos para os dois tipos de EG são deveras semelhantes. Em concordância, a modulação pelo ponto crítico é a que origina resultados mais vantajosos.

Embora a redução da pressão na rede assuma uma maior importância durante o período noturno devido aos baixos valores de consumo, representativos de perdas de água, no período diurno uma redução acentuada na pressão origina uma considerável baixa da faturação, sendo inconveniente para a EG. Porém, a subsistência de valores mais elevados de pressão para estas horas do dia poderá não ser compensatório, devido ao aumento da probabilidade de ocorrência de avarias e, consequentemente, dos custos envolvidos na sua reparação.

Da análise realizada aos resultados da VRP da Avenida da Boavista constata-se, tal como esperado, que a sua introdução origina uma considerável redução da pressão na subZMC e, por conseguinte, do volume de fugas e roturas ocorridas. No que respeita ao Indicador AA11ab, proposto pela ERSAR, verifica-se que este tem vindo a decrescer continuamente, aproximando-se dos valores ideais. Contudo, estes resultados são passíveis de serem otimizados, com modificação do funcionamento da válvula. No que respeita à simulação da modulação pelo ponto crítico consta-se que esta é bem mais eficaz do que a modulação horária em vigor, já que são obtidos valores inferiores e mais estáveis de pressão no ponto crítico. Esta redução assume uma maior importância para o período de menor consumo, sendo averiguado um decréscimo em cerca de 16 m.c.a.

Por último, da implementação no terreno da modulação pelo ponto crítico na VRP da Avenida da Boavista de acordo com as simulações realizadas verifica-se uma redução acentuada da pressão, da sua flutuação, bem como do caudal mínimo noturno, o que é claramente benéfico para a EG. Contudo, a pressão apresenta oscilações consideráveis em relação ao esperado para este tipo de modulação, afastando-se dos valores configurados no ponto crítico. No que respeita à modulação com dois pontos críticos este sistema não se revelou mais eficaz do que a modulação com apenas um ponto crítico, já que a pressão oscila entre uma gama semelhante de valores. Contudo, isto não inviabiliza o sistema redutor, dado que a modulação com dois ou até mais pontos críticos pode mostrar-se útil para outros casos, como por exemplo em zonas de maior extensão. A otimização do funcionamento da válvula da Avenida da Boavista pode ser alcançada com a concretização de outras medidas, as quais devem ser testadas no terreno.

Em suma, independentemente do tipo de modulação aplicada, a introdução de uma VRP numa rede de abastecimento origina benefícios significativos, em matéria de perdas de água reais e durabilidade das infraestruturas, fundamentalmente para redes antigas. Em virtude, a correta adaptação da modulação selecionada às características da rede, particularmente da sua geometria, área de intervenção, gama de pressão que se pretende reduzir e padrão de consumos, permite o alcance de benefícios deveras superiores.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Da realização do trabalho desenvolvido nesta dissertação são sugeridas algumas recomendações para trabalhos futuros de modo a poder aperfeiçoá-lo e complementá-lo:

- Implementação, no terreno, das modulações estudadas e realização de uma análise custo-benefício;

- Simulação de perdas de água para todos os nós da rede e com diferentes valores do expoente n da lei de vazão de um orifício para fluidos sob pressão, referenciados na literatura, com vista ao estudo da sua influência;
- Instalação da modulação pelo ponto crítico numa zona com maiores dimensões e verificação da sua fiabilidade, utilizando um e vários pontos críticos em simultâneo.

BIBLIOGRAFIA

A

Águas do Porto, EM. (2013a). [online]. *História – Abastecimento de Água à Cidade*. Acedido em 9 de março de 2013. Disponível em: http://www.aguasdoporto.pt/publico/fs.asp?flash=nao&File=m1_destaque/10_destaque.asp

Águas do Porto, EM. (2013b). *Relatório E Contas 2012*. Águas do Porto, EM, Porto.

Águas do Porto, EM. (2013c). *Relatório E Contas - 1º Semestre de 2013*. Águas do Porto, EM, Porto.

Alegre, H., Dória, M.F. (1998). *Develop Decision Criteria To Prioritize Replacement and Rehabilitation of Mains and Appurtenances – Survey Results*, relatório 292/98 – NES, Lisboa.

Alegre, H., Coelho, S. T., Almeida, M. C., Vieira P. (2005). *Controlo de Perdas de Água em Sistemas Públicos de Adução e Distribuição*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR). Lisboa.

B

Bairos, A. (2008). *Válvulas de Controlo Automático na Segurança e Gestão Operacional de Sistemas de Abastecimento e Drenagem: o Comportamento das VRP*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Baptista, F. (2011). *Sistemas Prediais de Abastecimento de Água Fria*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa.

BERMAD, Water Control Solutions. (2013a). [online]. *Pressure Reducing Pilot Valve Model #2PB*. Acedido em 18 de abril de 2013. Disponível em: <http://www.bermad.com/product/product=pressure-reducing-pilot-valve-model-2-pb-ww/cat=54118>

BERMAD, Water Control Solutions. (2013b). [online]. *“Y” Strainer. In-line Filter*. Acedido em 18 de abril de 2013. Disponível em: <http://www.bermad.com/Data/Uploads/WW%20Mun%20Acc%20Filters.pdf>

C

CLA-VAL. (2013). [online]. *Electronic Actuated Pressure Reducing Valve*. Acedido em 19 de abril de 2013. Disponível em: <http://www.cla-val.com/documents/pdf/E-390-02.pdf>

Coelho, S., Loureiro, D., Alegre, H. (2006). *Modelação e Análise de Sistemas de Abastecimento de Água*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR). Lisboa.

D

Deb, A., Grablutz, F.M., Hasit, Y.J., Snyder, J.K. (2000). *Develop Decision Criteria To Prioritize Replacement and Rehabilitation of Mains and Appurtenances*, AWWARF, Denver.

Decreto Regulamentar nº23/95 de 23 de agosto. *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e de Drenagem de Águas Residuais e Prediais de Distribuição de Água*. Suplemento de legislação. Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.

E

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR). (2013). *Relatório Anual do Setor de Águas e Resíduos em Portugal – Caracterização Geral do Setor (2012)*. Lisboa.

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR). (2012). *Guia de Avaliação da Qualidade dos Serviços de Águas e Resíduos Prestados aos Utilizadores – 2ª Geração do Sistema de Avaliação*. Lisboa.

F

Farley, M. (2001). *Leakage Management and Control - A Best Practice Training Manual*. World Health Organization, Geneva, Suíça.

Farley, M. (2003). *Non-Revenue Water – International Best Practice for Assessment, Monitoring and Control*. 12th Annual CWWA Water, Wastewater & Solid Waste Conference. 28 de setembro a 3 de outubro de 2003, Bahamas.

Farley, M., Wyeth, G., Md Ghazali, Z., Istandar, A., Singh, S. (2008). *The Manager's Non-Revenue Water Handbook – A Guide to Understanding Water Losses*. United States Agency for International Development, Bangucoque, Tailândia.

Fersil – Freitas & Silva, S.A. (2007). [online]. *Manual Técnico PEAD – Polietileno nos Sistemas de Distribuição e Drenagem de Águas Sob Pressão*. Acedido em 3 de julho de 2013. Disponível em: http://www.fersil.com/Files/Filer/FersilPDFs/Infraestruturas/MT_PE100_LA_EN12201_LC_EN1324_4.pdf

Figueiredo, S. (2000). *Caraterização da Situação Portuguesa Relativa à Qualidade, Estado de Conservação e Práticas de Manutenção de Conduitas de Água*. Relatório de Estágio de Fim de Curso (licenciatura), Universidade Independente, Lisboa.

G

Ghisi, E. (2004). *Apontamentos de Instalações I*. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

H

Hidro Melhoras, Lda. (2013). [online]. *PEGASUS GSM – Controlador de Válvulas Reguladoras de Pressão, com Pressão de Saída Modulada*. Acedido em 20 de abril de 2013. Disponível em: [http://www.hidromelhoras.com/Catalogos/PEGASUS%20GSM%202.7%20\(P\).pdf](http://www.hidromelhoras.com/Catalogos/PEGASUS%20GSM%202.7%20(P).pdf)

Heimann, A., Meyer, N., Liemberger, R. (2012). *Tailoring the Specifications for Pressure Reducing Valves*. Water Loss Manila 2012. Fevereiro de 2012, Manila.

K

KPMG Consultores de Gestão S.A. (2011). [online]. *Estudo Sobre As Condições Económicas e de Sustentabilidade do Setor da Água em Portugal*. Acedido em 5 de abril de 2013. Disponível em: http://www.aepsa.pt/fotos/gca/estudokpmg_0220847001310750881.pdf

L

Lambert, A. (2001). *What Do We Know About Pressure: Leakage Relationships In Distribution Systems?* IWA Specialised Conference on System Approach To Leakage Control and Water Distribution Systems Management. Maio de 2001, Brno, República Checa.

Lima, D. (2011). *Controlo de Perdas Reais em Sistemas de Abastecimento de Água – Substituição de Conduitas Sem Abertura de Vala*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

M

Martins, J.P. (2009). *Water Loss Reduction and Change Management*. Water Practice & Technology IWA Publishing.

Martins, J.P. (2012). *Redução das Perdas Físicas no Balanço Hídrico da Água*. 7ª Expo Conferência da Água. 17 de outubro de 2012, Lisboa.

Mckenzie, R., Wegelin, W. (2009). [online]. *Implementation of Pressure Management in Municipal Water Supply Systems*. Acedido em: 30 de abril de 2013. Disponível em: http://www.miyawater.com/user_files/Data_and_Research/miyas_experts_articles/3_DMA_Pressure_management/03_Implementation%20of%20pressure%20management%20in%20municipal%20water%20supply%20systems.pdf

Miranda, A. (2010). *Fiabilidade de Uma Rede de Abastecimento Público de Água*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Motta, R. (2010). *Importância da Setorização Adequada para Combate às Perdas Reais de Água de Abastecimento Público*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

N

Neves, M. (2007). *Apontamentos de Hidráulica Urbana e Ambiental*. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

P

Pereira, F. (2009). *Aplicação de Válvulas Redutoras de Pressão na Redução de Perdas Reais em Redes de Distribuição de Água na Unidade de Negócios Leste – SABESP*. Dissertação de Mestrado, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.

Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D., Koppel, T. (2010). *A Review of Methods for Leakage Management in Pipe Networks*. Urban Water Journal, 02/2010, 25-45, Taylor & Francis, Inglaterra.

R

Ristovski, B. (2011). *Pressure Management and Active Leakage Control in Particular DMA (Lisiche) in the City of Skopje, FYROM*. Water Utility Journal 2, 2011, 45-49, E.W. Publications, Atenas, Grécia.

T

Tecnilab Portugal, S.A. (2013a). [online]. Catálogo - *Flucon Válvulas Automáticas de Controlo*. Acedido em 16 de abril de 2013. Disponível em: http://www.tecnilab.pt/media/33/File/Downloads/Brochuras/catalogo_flucon.pdf

Tecnilab Portugal, S.A. (2013b). [online]. *Filtro do Sistema Piloto*. Acedido em: 15 de abril de 2013. Disponível em: <http://www.tecnilab.pt/content/default.asp?idcat=VALVULAS&idCatM=PRODUTOS&idContent=464E52B6-C346-4B86-A548-08278F49356D>

Tecnilab Portugal, S.A. (2013c). [online]. *Válvula de Gestão de Pressões – Flucon 200.02.02.HD2(BE).SVCs*. Acedido em 15 de abril de 2013. Disponível em: <http://www.tecnilab.pt/content/default.asp?idcat=VALVULAS&idCatM=PRODUTOS&idContent=4FD4E52C-31AD-4086-9384-8F1C4F1C1171>

Technolog. (2012). *Regulo – Closed Loop Control*. Apresentação do funcionamento *Regulo*.

V

Viegas, J. (2001). *Redução de Pressão – Uma Alternativa Técnica para Melhorar a Eficiência Operacional*. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 16 a 21 de setembro de 2001, João Pessoa (Paraíba), Brasil.

Z

Zaniboni, N. (2009). *Equipamentos e Metodologias para o Controlo e Redução de Perdas Reais em SAA*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ANEXOS

Anexo A – Fatores horários multiplicativos aplicados à modulação horária da VRP de Fonte da Moura

Anexo B – Fatores horários multiplicativos aplicados à modulação pelo ponto crítico da VRP de Fonte da Moura

Anexo C – Fatores horários multiplicativos aplicados à modulação horária da VRP da Avenida da Boavista

Anexo D – Fatores horários multiplicativos aplicados à modulação pelo ponto crítico da VRP da Avenida da Boavista

Anexo A – Fatores horários multiplicativos aplicados à modulação horária da VRP de Fonte da Moura

Horas	f	Pressão Jusante (m.c.a.)
0	0,574	27,0
1	0,489	23,0
2	0,489	23,0
3	0,489	23,0
4	0,489	23,0
5	0,489	23,0
6	0,719	32,0
7	0,894	42,0
8	1,000	47,0
9	1,000	47,0
10	1,000	47,0
11	1,000	47,0
12	1,000	47,0
13	1,000	47,0
14	1,000	47,0
15	0,894	42,0
16	0,894	42,0
17	0,894	42,0
18	0,894	42,0
19	0,894	42,0
20	0,894	42,0
21	0,894	42,0
22	0,787	37,0
23	0,787	37,0

Anexo B – Fatores horários multiplicativos aplicados à modulação pelo ponto crítico da VRP de Fonte da Moura

Horas	f	Pressão Jusante (m.c.a.)	Horas	f	Pressão Jusante (m.c.a.)
0	0,780	26,52	[11; 11,25]	0,980	33,32
0,25	0,770	26,18	11,5	0,977	33,22
0,5	0,760	25,84	11,75	0,975	33,15
0,75	0,755	25,67	12	0,970	32,98
[1; 1,25]	0,750	25,50	12,25	0,965	32,81
1,5	0,740	25,16	12,5	0,960	32,64
1,75	0,735	24,99	12,75	0,955	32,47
[2; 4,75]	0,730	24,82	[13; 13,25]	0,950	32,30
5	0,735	24,99	13,5	0,945	32,13
5,25	0,740	25,16	13,75	0,940	31,96
5,5	0,750	25,50	14	0,920	31,28
5,75	0,760	26,84	14,25	0,915	31,11
6	0,780	26,52	14,5	0,900	30,60
6,25	0,820	27,88	14,75	0,890	30,26
6,5	0,870	29,58	15	0,880	29,92
6,75	0,900	30,60	15,25	0,875	29,75
7	0,935	31,79	15,5	0,870	29,58
7,25	0,940	31,96	15,75	0,865	29,41
[7,5; 8]	0,950	32,30	16	0,860	29,24
[8,25; 8,5]	0,970	32,98	16,25	0,855	29,07
8,75	0,980	33,32	[16,5; 17,5]	0,850	28,90
9	0,990	33,66	17,75	0,855	29,07
[9,25; 10,25]	1,00	34,00	18	0,860	29,24
10,5	0,990	33,66	18,25	0,865	29,41
10,75	0,985	33,49	18,5	0,870	29,58

Horas	f	Pressão Jusante (m.c.a.)
18,75	0,880	29,92
19	0,890	30,26
[19,25; 20]	0,900	30,60
20,25	0,890	30,26
20,5	0,880	29,92
20,75	0,870	29,58
21	0,860	29,24
[21,25; 21,5]	0,850	28,90
[21,75; 22,25]	0,840	28,56
22,5	0,835	28,39
22,75	0,830	28,22
23	0,825	28,05
23,25	0,820	27,88
23,5	0,800	27,20
23,75	0,790	26,86

Anexo C – Fatores horários multiplicativos aplicados à modulação horária da VRP da Avenida da Boavista

Horas	f	Pressão Jusante (m.c.a.)	Horas	f	Pressão Jusante (m.c.a.)
0	1,035	36,23	7	0,9940	34,79
0,25	1,031	36,09	7,25	1,013	35,46
0,5	1,018	35,63	7,5	1,015	35,53
0,75	1,012	35,42	7,75	1,034	36,19
1	1,037	36,30	8	0,9930	34,76
1,25	1,043	36,51	8,25	1,002	35,07
1,5	1,037	36,30	8,5	0,9630	33,71
1,75	1,046	36,61	8,75	0,9690	33,92
2	1,045	36,58	9	0,9860	34,51
2,25	1,047	36,65	9,25	0,9760	34,16
2,5	1,048	36,68	9,5	0,9580	33,53
2,75	1,039	36,37	9,75	0,9690	33,92
3	1,042	36,47	10	0,9760	34,16
3,25	1,045	36,58	10,25	0,9680	33,88
3,5	1,054	36,89	10,5	0,9820	34,37
3,75	1,055	36,93	10,75	0,9810	34,34
4	1,058	37,03	11	0,990	34,65
4,25	1,042	36,47	11,25	1,003	35,11
4,5	1,055	36,93	11,5	0,9890	34,62
4,75	1,054	36,89	11,75	0,9950	34,83
5	1,045	36,58	12	0,9690	33,92
5,25	1,048	36,68	12,25	0,9690	33,92
5,5	1,036	36,26	12,5	0,9570	33,50
5,75	1,030	36,05	12,75	0,9710	33,99
6	1,023	35,81	13	0,9570	33,50
6,25	1,012	35,42	13,25	1,022	35,77
6,5	0,9880	34,58	13,75	0,9950	34,83
6,75	0,9620	33,67	14	0,9810	34,34

Horas	f	Pressão Jusante (m.c.a.)	Horas	f	Pressão Jusante (m.c.a.)
14,25	0,9880	34,58	19,25	0,9760	34,16
14,5	0,9510	33,29	19,5	0,9640	33,74
14,75	0,9500	33,25	19,75	0,9640	33,74
15	0,9660	33,81	20	0,9750	34,13
15,25	0,9620	33,67	20,25	0,9710	33,99
15,5	0,9790	34,27	20,5	0,9800	34,30
15,75	0,9830	34,41	20,75	0,9830	34,41
16	0,9800	34,30	21	0,9740	34,09
16,25	0,9810	34,34	21,25	0,9830	34,41
16,5	0,9840	34,44	21,5	0,9900	34,65
16,75	0,9930	34,76	21,75	0,9970	34,90
17	0,9900	34,65	22	0,9990	34,97
17,25	0,9940	34,79	22,25	0,9760	34,16
17,5	0,9970	34,90	22,5	0,9830	34,41
17,75	0,9940	34,79	22,75	1,003	35,11
18	0,9920	34,72	23	1,008	35,28
18,25	0,9930	34,76	23,25	1,009	35,32
18,5	0,9900	34,65	23,5	1,020	35,70
18,75	0,9830	34,41	23,75	1,022	35,77
19	0,9760	34,16	-	-	-

Anexo D – Fatores horários multiplicativos aplicados à modulação pelo ponto crítico da VRP da Avenida da Boavista

Horas	f	Pressão Jusante (m.c.a.)	Horas	f	Pressão Jusante (m.c.a.)
0	0,645	22,58	9,75	0,920	32,20
0,25	0,630	22,05	10	0,940	32,90
[0,5; 0,75]	0,650	22,75	10,25	0,925	32,38
1	0,630	22,05	10,5	0,900	31,50
1,25	0,620	21,70	10,75	0,880	30,80
[1,5; 1,75]	0,610	21,35	11	0,865	30,28
2	0,600	21,00	[11,25; 11,5]	0,855	29,93
2,25	0,610	21,35	[12,25; 12,5]	0,830	29,05
2,5	0,610	21,35	12,75	0,810	28,35
2,75	0,600	21,00	13	0,850	29,75
3	0,595	20,83	13,25	0,870	30,45
3,25	0,590	20,65	[13,5; 13,75]	0,850	29,75
3,5	0,590	20,65	14	0,850	29,75
[3,75; 4,75]	0,600	21,00	14,25	0,860	30,10
5	0,615	21,53	14,5	0,810	28,35
[5,25; 5,75]	0,625	21,88	14,75	0,790	27,65
6	0,650	22,75	15	0,795	27,83
6,25	0,690	24,15	15,25	0,775	27,13
6,5	0,730	25,55	15,5	0,735	25,73
6,75	0,762	26,67	[15,75; 16]	0,720	25,20
7	0,790	27,65	[16,25; 16,5]	0,710	24,85
[7,25; 7,75]	0,815	28,53	[16,75; 18,5]	0,700	24,50
8	0,835	29,23	18,75	0,710	24,85
8,25	0,885	30,98	19	0,730	25,55
[8,5; 8,75]	0,910	31,85	[19,25; 19,5]	0,740	25,90
9	0,930	32,55	19,75	0,735	25,73
9,25	0,985	34,48	[20; 20,25]	0,740	25,90
9,5	0,950	33,25	[20,5; 21,25]	0,730	25,55

Horas	f	Pressão Jusante (m.c.a.)
21,5	0,695	24,33
21,75	0,690	24,15
22	0,700	24,50
22,25	0,710	24,85
[22,5; 22,75]	0,700	24,50
[23; 23,25]	0,670	23,45
23,5	0,660	23,10
23,75	0,650	22,75

