

# REDUÇÃO DE PERDAS REAIS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: OTIMIZAÇÃO DAS PRESSÕES NUMA GRANDE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA - APLICAÇÃO A UM SUBSISTEMA DA CIDADE DO PORTO

## Reduction of real water losses in Water Supply Systems: Pressure Optimization in a Large Water Distribution Network - Application to a Subsystem of Porto

ANA CARDOSO <sup>(1)</sup> FLÁVIO OLIVEIRA <sup>(2)</sup>, FERNANDA LACERDA <sup>(3)</sup> e JOAQUIM POÇAS MARTINS <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Mestre em Engenharia do Ambiente, FEUP,  
Rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, [anappmcardoso@gmail.com](mailto:anappmcardoso@gmail.com)

<sup>(2)</sup> Mestre em Engenharia Civil, FEUP,  
Rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, [flavioreisoliveira@gmail.com](mailto:flavioreisoliveira@gmail.com)

<sup>(3)</sup> Diretora técnica, Águas do Porto, EM,  
Rua Barão Nova Sintra, 285, 4300-367 Porto, [fernanda.lacerda@aguasdoporto.pt](mailto:fernanda.lacerda@aguasdoporto.pt)

<sup>(4)</sup> Professor Associado com Agregação, FEUP,  
Rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, [pmartins@fe.up.pt](mailto:pmartins@fe.up.pt)

### Resumo

O presente trabalho tem como principal objetivo o desenvolvimento de metodologias para redução de perdas reais em sistemas de abastecimento de água, recorrendo ao estudo de válvulas redutoras de pressão instaladas nas redes de distribuição, de forma a reduzir a pressão global na rede e, conseqüentemente, as fugas de água.

O controlo de perdas reais engloba várias componentes de ação, sendo que o controlo e gestão da pressão na rede surge como a medida mais simples e eficaz na concretização deste objetivo. Com recurso a válvulas redutoras de pressão, a pressão e respetiva flutuação a jusante são reduzidas através do controlo avançado destes equipamentos. Estas válvulas podem ser controladas através de vários tipos de modulação (modulação com saída fixa de pressão, modulação horária, modulação pelo ponto crítico e modulação pelo caudal), tendo sido realizado um estudo intensivo e comparativo das várias soluções através do programa de modelação hidráulica *WaterGEMS* da *Bentley*.

O estudo baseia-se em simulações hidráulicas de um modelo de um caso concreto à escala real, avaliando os resultados da redução de fugas com o caudal dependente da pressão na rede de distribuição, os resultados da extrapolação do método de redução para outros casos de Entidades Gestoras com monitorização insuficiente da sua rede, os resultados de simulações de incêndio aferindo a fiabilidade das várias formas de controlo e, por último, os resultados da implementação no terreno, pela primeira vez em Portugal, da modulação por um e dois pontos críticos numa zona de medição e controlo real.

**Palavras-chave:** Sistema de abastecimento de água, controlo e redução de perdas reais, válvula redutora de pressão, modulação de válvulas, simulação de incêndio, ponto crítico.

### Abstract

This work has as main objective the development of methodologies for the reduction of real losses in water supply systems, using the study of pressure reducing valves installed in the distribution networks, in order to reduce the overall pressure on the network and consequently water leakages.

The monitoring of actual real losses encompasses several action components, the control and management of the network pressure is definitely the most simple and effective to achieve this objective. With the installation of pressure reducing valves, the pressure and his fluctuation for downstream are reduced by the advanced control of these devices. These valves can be controlled through various types of modulation (modulation with fixed output pressure, time modulation, modulation by critical point or closed look and flow modulation), being carried out a intensive and a comparative study of the various solutions through the program of hydraulic simulation *WaterGEMS* from *Bentley*.

The study is based on hydraulics simulations of a model of a real case on a real scale, evaluating the results of the reduction of leaks with the pressure dependent demand in the distribution network, the results of the extrapolation of the reducing method for other cases of management entities with insufficient network monitoring, the results of the fire simulations assessing the reliability of the various types of control and, at last, the results of field implementation of the closed look with one and two critical points in a real district meter area for the first time in Portugal.

**Keywords:** water supply system, control and reduction of real losses, pressure reducing valve, modulation of valves, fire simulation, critical point.

## 1. Introdução

Desde a captação em linhas de água até ao momento em que é consumida, a água sofre várias transformações e é sujeita a vários processos de tratamento e transporte. Durante estes processos parte da água é perdida e não chega ao consumidor final, não sendo, pois, faturada pela Entidade Gestora (EG) nem utilizada para outros usos autorizados.

Para além deste não retorno do investimento, os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) têm também um papel preponderante na gestão do ciclo urbano da água, devendo respeitar este elemento como um recurso cada vez mais escasso no planeta, sendo a sua conservação uma responsabilidade cívica.

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

Segundo os últimos dados da ERSAR (Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos) relativos ao ano transato, das EG que conseguem responder aos indicadores de qualidade do serviço, metade apresenta uma excessiva ocorrência de perdas de água reais, chegando a atingir cerca de 50% de perdas no sistema. Além destas, um quinto das EG nem consegue sequer responder ao indicador, uma vez que é incapaz de contabilizar a totalidade do valor de Água Não Faturada (ANF) anual, perdendo o controlo do sistema em gestão (ERSAR, 2013).

É nesta perspetiva que surge uma nova abordagem sobre as perdas de água. A eficiência do setor depende, pois, das medidas proativas que se tomam diariamente, das quais uma boa prática de gestão combinada com uma correta aplicação das técnicas mais eficazes são a chave da eficiência do setor.

A redução da pressão na rede de abastecimento de água 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, consegue-se a diminuição das perdas de água já existentes e, fundamentalmente, das que são dificilmente detetáveis e, em compensação, reduz-se a Água Entrada no Sistema (AES).

Quer através da redefinição da rede de distribuição ao nível das pressões, quer recorrendo a Válvulas Redutoras de Pressão (VRP) estrategicamente instaladas, a modelação matemática é uma ferramenta muito útil na simulação do comportamento hidráulico da rede de um SAA, nomeadamente no que respeita à gestão das perdas reais. Conseguem-se determinar os locais da rede onde é possível e importante realizar intervenções com vista à redução da pressão, identificando os locais de consumo submetidos a pressões exageradamente elevadas, bem como dos locais onde a pressão é insuficiente, decorrente das perdas de carga excessivas.

Este estudo foi, portanto, realizado de forma a obter-se uma redução das perdas de água reais em SAA num caso concreto à escala real. Foi abordada uma estratégia pró-ativa de redução da pressão na rede através de simulações matemáticas de VRP implantadas com diferentes formas de controlo e gestão.

## 2. Perdas Reais em Sistemas de Abastecimento de Água (SAA)

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, refletindo-se na destabilização das suas finanças, na deficiente qualidade do serviço prestado aos consumidores e num aumento do custo da água faturada. Em consonância são um problema ambiental e, igualmente, social.

Anualmente são perdidos mais de 32 biliões de m<sup>3</sup> de água tratada, em resultado de fugas e roturas nas redes de distribuição (Farley *et al.*, 2008).

Adicionalmente, cerca de 16 biliões de m<sup>3</sup> de água são entregues aos clientes e não são faturados, devido a roubo, corrupção ou erros de medição.

A primeira fase do desenvolvimento de uma estratégia de redução das perdas de água consiste na obtenção de respostas às seguintes perguntas (Farley, 2003):

- 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.

As perdas de água reais são resultantes de fugas e roturas nas condutas, nos órgãos acessórios da rede de distribuição, tais como juntas de ligação, e nos reservatórios.

O volume de água perdido é dependente 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 (Farley, 2001).

As perdas de água reais classificam-se em quatro categorias, a saber (Farley *et al.*, 2008):

- Perdas por roturas na rede de distribuição estão associadas a eventos de grandes dimensões, capazes de causar danos nas infraestruturas e, por conseguinte, originar interrupções no sistema de abastecimento. 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 perdido;

- Perdas por fugas identificáveis por equipamentos de deteção de fugas - 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 perdido e a duração da fuga é dependente da estratégia adotada pelo Controlo Ativo de Perdas (CAP);
- Perdas decorrentes de pequenas fugas - estão geralmente associadas a acessórios, tais como juntas de ligação, e são indetetáveis pela 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 significativo 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;
- Perdas por fugas e extravasamentos em reservatórios - os extravasamentos ocorrem essencialmente à noite, uma vez que o consumo de água por parte dos clientes é mais reduzido neste período e os reservatórios estão em enchimento. Para o combate às fugas resultantes da fissuração devem ser realizadas inspeções periódicas.

Na Figura 1 é possível verificar que o volume de água perdido aumenta com o alargamento do tempo de perceção, localização e reparação.

As perdas de água a que correspondem caudais mais elevados, por serem mais facilmente detetadas, originam um menor volume de água perdido.

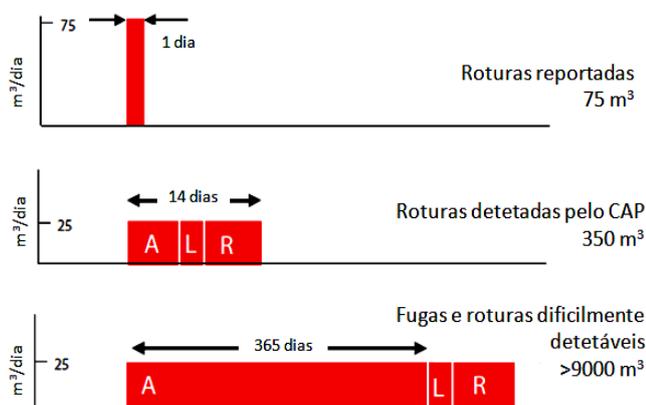


Figura 1. Relação entre a quantidade de água perdida e a duração da fuga. Legenda: A - Awareness (Perceção); L - Location (Localização); R - Repair (Reparação) (Farley *et al.*, 2008).

A gestão das perdas de água e a deteção de fugas e roturas tem vindo a ser considerada, embora com atraso, 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, como resultado 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 respetivas entidades reguladoras (Farley, 2003).

O controlo das perdas reais, por parte das EG, assenta em quatro pilares fundamentais: a gestão da pressão na rede, a qualidade e rapidez das reparações de fugas e roturas, o CAP e, por último, com a necessidade de maiores investimentos, a reabilitação e substituição das infraestruturas, Quadro 1.

Quadro 1. Medidas a implementar de acordo com a localização das perdas de água reais (Martins, 2012).

	MEDIDA 1	MEDIDA 2	MEDIDA 3	MEDIDA 4
Perdas em condutas				
Perdas em Ramais Domiciliários	Gestão da pressão	Rapidez e eficácia das reparações	Controlo Ativo de Perdas	Substituição Reabilitação
Perdas em Reservatórios	Detetar e prevenir extravasamentos	Reparar Reabilitar	-	-

### 3. Gestão da Pressão

As pressões excessivas e as suas constantes oscilações danificam as infraestruturas da rede de abastecimento, originando, inevitavelmente, fugas e roturas com um consequente volume de água perdido.

A gestão da pressão é uma das medidas fundamentais atribuídas à estratégia de gestão das perdas reais em SAA, dado que a frequência com que as fugas e roturas ocorrem é função da pressão e das suas variações cíclicas. Igualmente, a quantidade de água perdida aumenta com o aumento da pressão (Farley *et al.*, 2008).

Perante a incapacidade de equilibrar a pressão na rede de abastecimento de água através da 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. Estes acessórios são instalados em pontos estratégicos da rede de abastecimento, com vista à redução ou conservação da pressão num determinado nível, fundamentalmente para o período de menor consumo, com a introdução de uma perda de carga localizada ao escoamento (Farley *et al.*, 2008). As VRP são de fácil e rápida implementação e propiciam, de imediato, importantes benefícios na área de influência, devido à redução da pressão a níveis operacionais que evitam a falta de água nos pontos mais críticos da rede. Igualmente, a sua instalação requer um investimento que é rapidamente recuperado.

No desenvolvimento de uma estratégia de redução da pressão é crucial considerar o disposto no Artigo 21º do Decreto Regulamentar nº23/95, de 23 de Agosto, no qual vem referido que a pressão de serviço, em qualquer dispositivo de uso predial para o caudal de ponta, não deve ser, em regra, inferior a 10 m.c.a.

Na rede pública e ao nível do arruamento a pressão mínima é calculada pela equação [1]:

$$H = 10 + 4 \times n^{\circ} \text{ pisos} \quad [1]$$

em que  $H$  representa a pressão mínima necessária [m.c.a.] e  $n^{\circ}$  pisos o número de pisos acima do solo (incluindo o piso térreo).

Segundo o mesmo Artigo, a pressão máxima, estática ou de serviço, em qualquer ponto de utilização não deverá ultrapassar os 60 m.c.a., valor medido ao nível do solo. Visto isto, é crucial reduzir a pressão nos locais da rede de abastecimento em que este valor é ultrapassado, obtendo-se benefícios económicos e operacionais. Contudo, é importante garantir o abastecimento contínuo de água às populações com pressão suficiente, mantendo os utilizadores satisfeitos e evitando reclamações à EG.

Existem quatro modalidades de funcionamento de uma VRP, porém 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, dado que não pondera as variações do consumo total na rede, sendo a pressão de jusante mantida fixa para todas as horas do dia. Este sistema redutor é, de todos, o que necessita de custos de investimento, manutenção e operação mais reduzidos. Na modulação horária a pressão é mantida constante para intervalos de tempo pré-definidos, variando de intervalo para intervalo. Vulgarmente, são utilizados dois patamares de pressão, um correspondente ao período diurno e outro ao período noturno (Bairos, 2008). Porém, caso seja utilizado um controlador eletrónico, são conseguidos vários patamares para a pressão de saída da válvula.

A instalação de uma VRP modulada pelo tempo é apropriada para casos em que o sistema apresente perdas de carga significativas, ou seja, superiores a 10 m.c.a., e em que o perfil de consumo seja regular (Bairos, 2008). A modulação pelo consumo ou pelo caudal é recomendada para situações em que existem grandes perdas de carga no sistema e mudanças inesperadas no perfil de consumo.

Este sistema necessita de estar associado a um caudalímetro, já que a pressão é estabelecida em função do consumo, e a um controlador eletrónico (Alegre *et al.*, 2005).

Por último, a modulação pelo Ponto Crítico (PC) permite o controlo da pressão de jusante em função dos valores medidos e desejados previamente no(s) PC da rede. Estes são, em tempo real, enviados ao controlador da VRP, através de um sistema de telemetria (Alegre *et al.*, 2005).

## 4. Resultados

### 4.1. Introdução e Objetivos

Após um estudo da reestruturação da rede de abastecimento ao nível do direcionamento do escoamento, de forma a equilibrar ao máximo os níveis de pressão, a instalação de VRP constitui o melhor método de os controlar, impondo uma pressão de jusante totalmente controlada dentro dos intervalos desejáveis.

Paralelamente, os vários tipos de modulação permitem um melhor ajuste das pressões na rede, e uma maior redução das perdas. Neste âmbito, recorreu-se ao programa de simulação hidráulica *WaterGEMS*, da *Bentley*, para estudar três VRP instaladas em duas Zonas de Medição e Controlo (ZMC) do SAA da cidade do Porto: Preciosa-Mar e Fonte da Moura.

O objetivo passa por estudar as várias opções de modulação das válvulas, de forma a obter os melhores resultados ao nível das pressões e da redução das perdas reais na rede de distribuição. A simulação de fugas de água dependentes da pressão para os vários cenários de modulação permitiu posteriormente obter a redução da quantidade de água perdida pelas mesmas.

Outro objetivo deste estudo centrou-se na extrapolação do método de redução e das modalidades de controlo estudadas para EG com monitorização insuficiente da rede de distribuição e, assim, não conseguirem definir com um grau de exatidão avançado os perfis de consumo respetivos.

A avaliação da eficácia da modulação pelo Ponto Crítico através da sua instalação no terreno pela primeira vez em Portugal constituiu o objetivo subsequente. Por último, realizou-se uma simulação de incêndio de forma a testar a fiabilidade das várias modulações, prevendo os seus efeitos na pressão da rede.

### 4.2. Modulações das VRP

As duas ZMC em estudo têm ambas uma VRP instalada no respetivo Ponto de Entrega (PE) da empresa fornecedora “em alta” (Águas do Douro e Paiva – AdDP) à Águas do Porto (sistema “em baixa”), as quais foram alvo de simulação dos vários tipos de modulação, comparando os resultados obtidos com os da modulação horária atualmente existente nas duas válvulas. Relativamente à ZMC Preciosa-Mar, esta zona apresenta a particularidade de ter dois PC, ou seja, dois pontos da rede com diferentes perfis de consumo que os tornam PC em períodos diários distintos. Os resultados das pressões nestes dois pontos comparando as várias modulações estudadas estão representados nas Figuras 2 e 3.

Pela análise da Figura 2 é possível verificar que através da modulação pelos PC se obtém uma maior estabilização da pressão na rede de distribuição, reduzindo a flutuação diária da mesma face à modulação horária existente na válvula.

Comparando a posteriori a modulação pelos PC e pelo caudal, Figura 3, verificam-se melhores resultados na primeira. A flutuação da pressão na rede é sensivelmente mais reduzida na modulação pelos PC, o que lhe confere um maior carácter de fiabilidade.

Atentando agora na ZMC de Fonte da Moura, pela análise do seu perfil de consumo constatou-se que esta apenas apresenta um único PC na sua rede de distribuição. Sendo uma zona com maiores dimensões no que toca à extensão de condutas distribuidoras relativamente à ZMC anterior, realizou-se analogamente uma simulação das várias modulações da VRP, de forma a retirar resultados passíveis de comparação – Figura 4.



Figura 2. Pressão nos PC da rede de distribuição da Preciosa-Mar para as modulações pelos dois PC e horária existente.

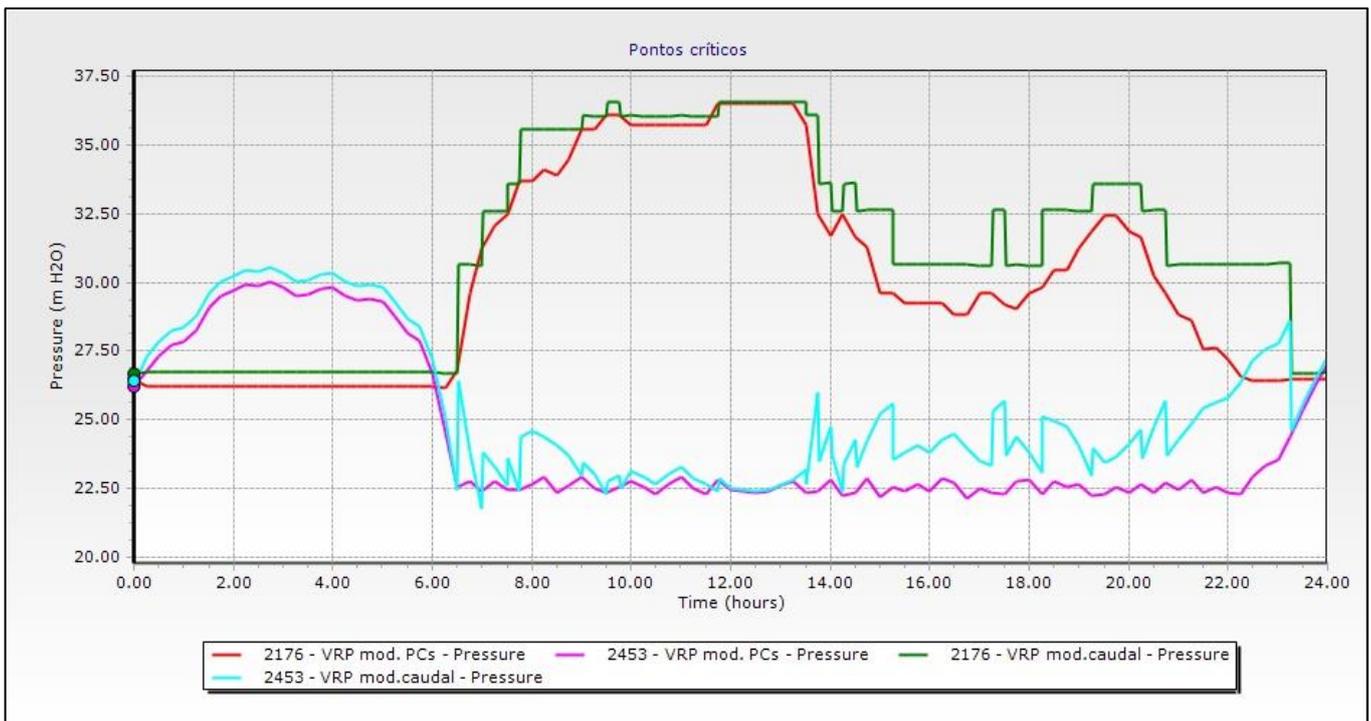


Figura 3. Pressão nos PC da rede de distribuição da Preciosa-Mar para as modulações pelos dois PC e pelo caudal.

Analogamente ao que acontece na Preciosa-Mar, a forma de controlo que melhores resultados apresenta na VRP do PE da Fonte da Moura é a modulação pelo PC.

Como é possível verificar pela Figura 4, a linha verde (modulação pelo PC) apresenta maior estabilidade, o que traduz uma maior redução da flutuação da pressão na rede ao longo do dia, mantendo-se aproximadamente nula. Também os níveis de pressão apresentam maior redução para esta modulação, contudo, mantendo sempre os níveis mínimos regulamentares (20 m.c.a.).

Como fica demonstrado através das simulações hidráulicas realizadas para ambas as ZMC, a modulação pelo PC é a que regista melhores resultados no que diz respeito ao controlo das VRP instaladas nos PE. Esta modulação é a que permite maior conservação da pressão, já que a sua flutuação diária é praticamente nula. Em concordância, este tipo de controlo 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.

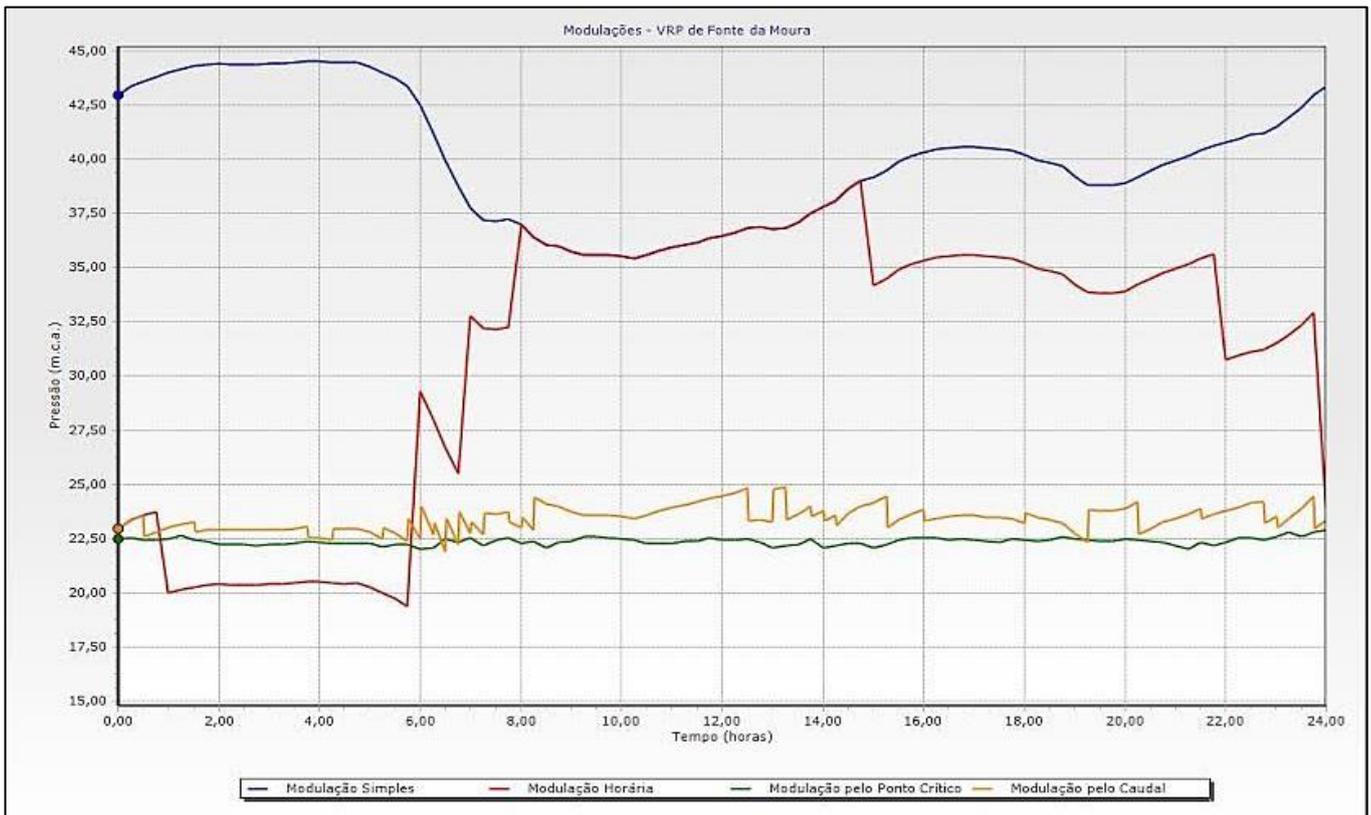


Figura 4. Pressão no PC da rede de distribuição da Fonte da Moura para as várias modulações estudadas.

### 4.3. Simulação de fugas de água

Com o intuito de avaliar os resultados relativamente à redução das fugas de água estimadas na rede de abastecimento, simularam-se no modelo do *WaterGEMS*, para cada tipo de modulação estudada, fugas de água dependentes da pressão. No programa, o comando que permite executar este tipo de simulação é o *Pressure Dependent Demand (PPD)*, onde o caudal de fuga nodal é encarado como uma variável da pressão nodal. Genericamente, a função baseia-se numa relação exponencial entre a pressão e o caudal no nó de fuga. De acordo com a lei de vazão de um orifício, esta pode ser descrita de forma simplificada, conforme se indica na seguinte equação,

$$Q_{orificio} = K P^n \quad [2]$$

em que  $Q_{orificio}$  representa o caudal escoado pelo orifício [ $m^3/h$ ],  $K$  o coeficiente função da área do orifício, do coeficiente de vazão, etc.,  $P$  a pressão imediatamente a montante do orifício [m.c.a.] e  $n$  o expoente da lei de vazão, considerado o valor 0.5, admitindo-se que as fugas de água simuladas são fruto de roturas em condutas de distribuição.

Conforme a literatura consultada e os dados de campo da Águas do Porto para este caso, as perdas reais rondam aproximadamente 50% do caudal mínimo noturno. Na ZMC Preciosa-Mar o caudal médio noturno é aproximadamente 30  $m^3/h$ . Assim sendo e de modo a obter resultados com uma maior abrangência, foram simulados três cenários distintos:

- Três nós de fuga com um caudal base de fuga de 2,50  $m^3/h$ , perfazendo no total 7,50  $m^3/h$  (25% do caudal noturno);

- Três nós de fuga com um caudal base de fuga de 5,00  $m^3/h$ , perfazendo no total 15,00  $m^3/h$  (50% do caudal noturno);
- Três nós de fuga com um caudal base de fuga de 10,00  $m^3/h$ , perfazendo no total 30,00  $m^3/h$  (100% do caudal noturno).

Os resultados obtidos para a ZMC em causa estão representados na Figura 5.

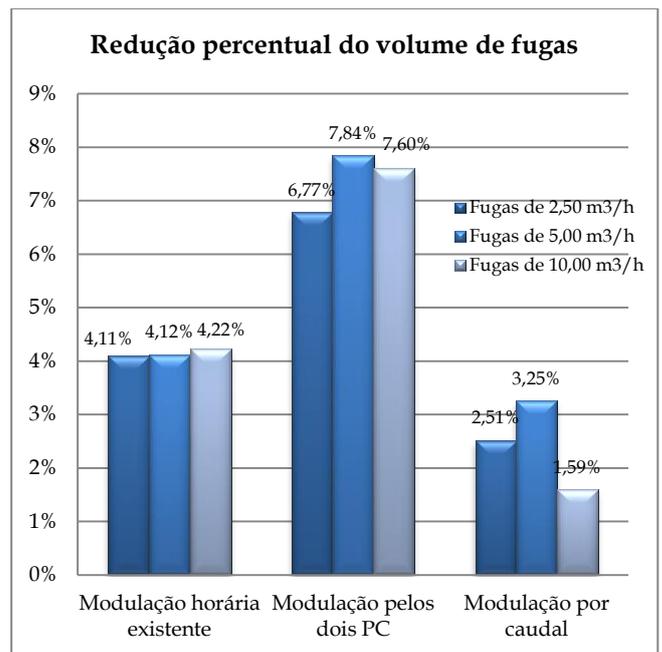


Figura 5. Redução percentual do volume de fugas de acordo com o tipo de modulação da VRP da Preciosa-Mar.

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que a modulação mais vantajosa ao nível da redução da quantidade de água perdida é a modulação pelos PC, que regista até 7,84% de redução percentual para o cenário de fugas de 5,00 m<sup>3</sup>/h.

Através do produto da quantidade de água reduzida, pelo preço a que a água é comprada pela empresa à AdDP, obtêm-se as poupanças financeiras anuais representadas na Figura 6.

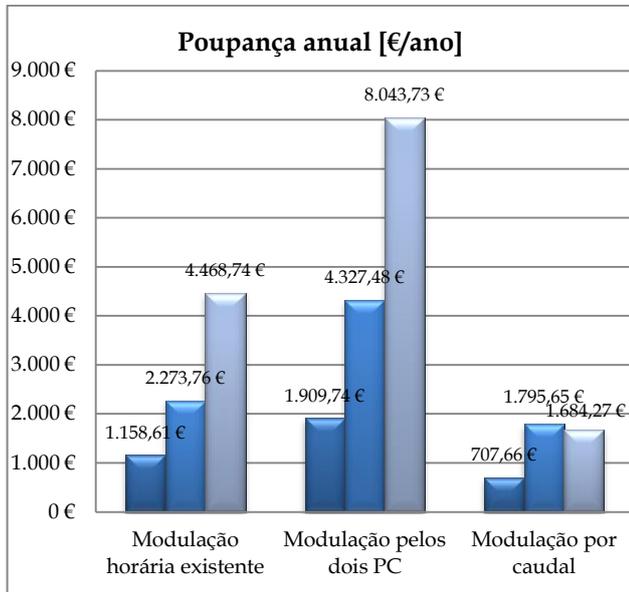


Figura 6. Poupança anual segundo o grau de fugas para as diferentes modulações da VRP da Preciosa-Mar.

#### 4.4. Extrapolação do método redutor para outros casos de EG

O objetivo da extrapolação do método de redução para outros casos relaciona-se com o facto de nem todas as empresas de águas terem ao seu dispor dados de monitorização suficientes para conseguir definir com a devida exatidão o escoamento nas suas redes de distribuição.

Assim, realizou-se uma simulação hidráulica para o mesmo modelo da ZMC Preciosa-Mar, mas agora com um perfil de consumo diário tripartido, Figura 7.

De forma a obter resultados passíveis de comparação, seguiu-se o mesmo método de simulação de fugas de água dependentes da pressão, obtendo-se os resultados apresentados nas Figuras 8, 9 e 10.

É possível comprovar a transversalidade do método redutor em estudo para casos de EG em que os escassos meios de monitorização disponíveis na rede não permitem um conhecimento exato do escoamento.

A semelhança dos resultados alcançados relativamente à redução da quantidade de água perdida a partir da simulação de fugas de água comprova isso mesmo.

É possível, pois, reduzir as perdas reais na rede de abastecimento a partir da redução da pressão com VRP controladas com equipamentos de controlo avançado.

#### 4.5. Implementação da modulação pelo PC

Sendo objetivo da Águas do Porto a implementação, pela primeira vez, da modelação pelo PC com vista à análise dos seus benefícios e inconvenientes, tomou-se como objeto de estudo a VRP da Avenida da Boavista que se encontra dentro da ZMC da Fonte da Moura.

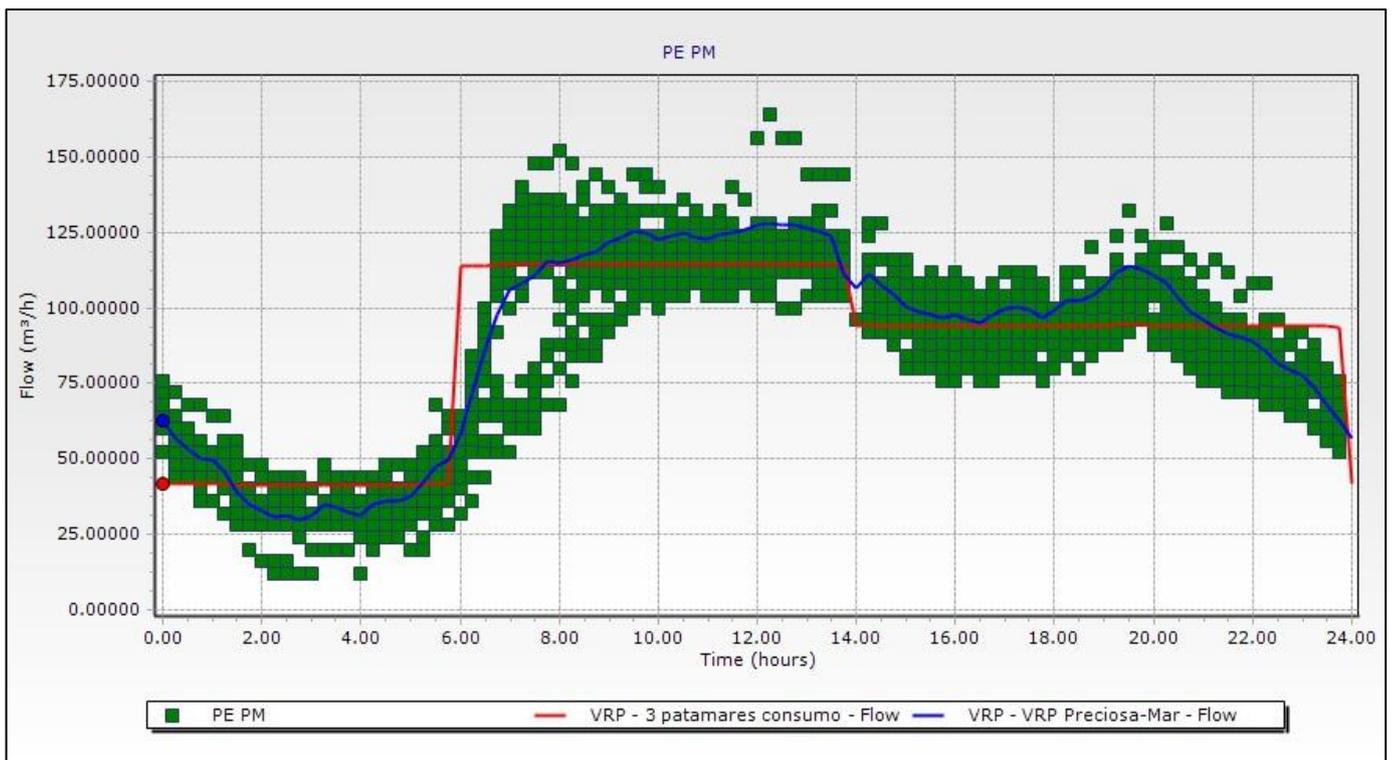


Figura 7. Perfil diário do consumo da ZMC Preciosa-Mar para três patamares de consumo (linha vermelha).

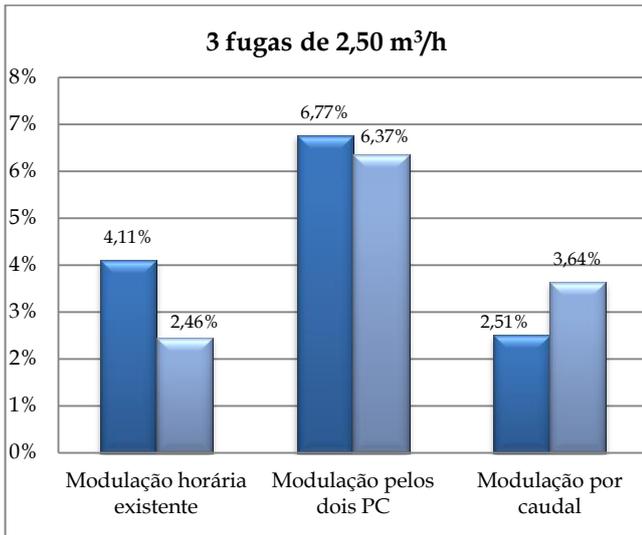


Figura 8. Comparação dos dois tipos de perfil relativamente à redução percentual do volume de fugas para o cenário de 3 fugas de 2,50 m³/h.

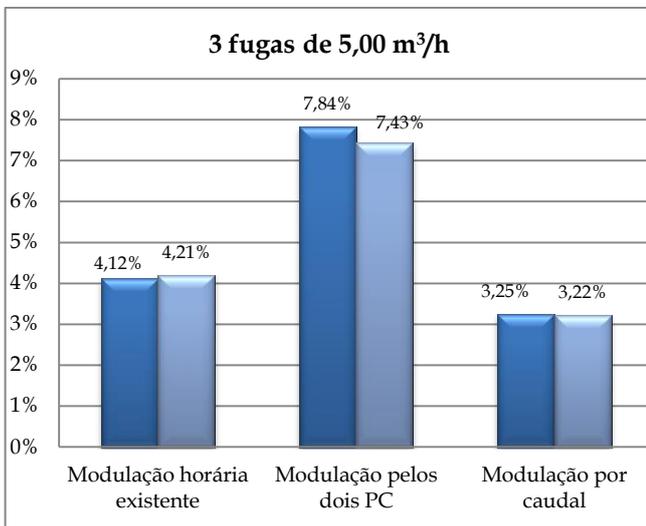


Figura 9. Comparação dos dois tipos de perfil relativamente à redução percentual do volume de fugas para o cenário de 3 fugas de 5,00 m³/h.

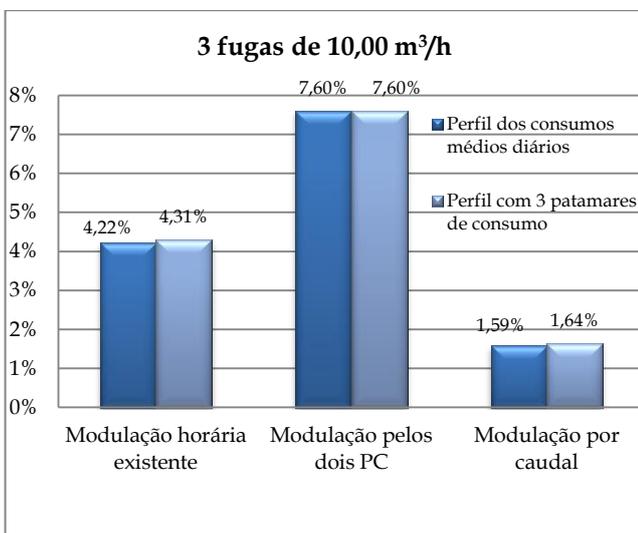


Figura 10. Comparação dos dois tipos de perfil relativamente à redução percentual do volume de fugas para o cenário de 3 fugas de 10,00 m³/h.

Previamente à sua implementação, determinou-se o PC da subZMC de Côte Real, bem como a pressão necessária nesse mesmo local, sendo esta 28 m.c.a. Por conseguinte, no *data logger* de Côte Real 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. 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 caudal corresponde quase na sua totalidade a perdas de água.

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 que sejam 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, foi 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 PC for inferior ao limite mínimo ou então superior ao limite máximo fixados será enviado um alarme ao controlador da VRP, o qual fará com que a válvula diminua ou aumente a perda de carga induzida ao escoamento.

Por sua vez, a pressão de jusante é aumentada ou diminuída fruto deste ajuste da perda de carga localizada, bem como a pressão na totalidade da rede de distribuição, incluindo no PC.

Posteriormente à resposta provocada pelo alarme, caso a pressão no PC ainda se mantenha fora da gama de pressões previamente configurada, o *data logger* envia novamente outro alarme ao controlador. Este processo iterativo prossegue até que a pressão no PC estabilize dentro dos valores definidos.

Na Figura 11 está representada a pressão no *data logger* de Côte Real com a VRP modulada para dois patamares horários (modulação horária existente anteriormente) e pelo PC após a sua implementação.

É visível um decréscimo acentuado da pressão e da sua flutuação diária em Côte Real, logo após a implementação da modulação pelo PC. 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 nas mesmas.

Com a modulação horária a pressão no PC oscilava entre 22 e 43 m.c.a., porém com a nova modulação pelo PC verificou-se uma variação máxima da pressão entre 22 e 35 m.c.a.

Estes resultados devem-se ao facto da modulação pelo PC acompanhar as variações da pressão que se fazem sentir na rede de abastecimento de água.

Em contrapartida, a modulação horária apresenta um carácter mais estático, ou seja, é independente dos requisitos de consumo e pressão na rede.

Numa segunda fase, com vista à otimização da modulação pelo PC, nomeadamente com a redução da gama de flutuação da pressão, foi estudado e implementado um segundo PC no sistema. Deste modo, no terreno, estabeleceu-se a conexão entre o *data logger* de Boavista Nevogilde (*data logger* do segundo PC) e o controlador eletrónico da VRP, já com conexão com o PC de Côte Real.

Em concordância com as simulações realizadas foram novamente definidos dois patamares de pressão para o segundo PC: 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.

Na Figura 12 estão apresentados os resultados.

Os resultados obtidos com a implementação da modulação com dois PC não se revelaram benéficos relativamente à modulação com apenas um, dado que o perfil diário de pressões é conservado.

Verifica-se, assim, que o aumento do número de PC nesta ZMC 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, bem como devido à relativa proximidade dos dois PC definidos.

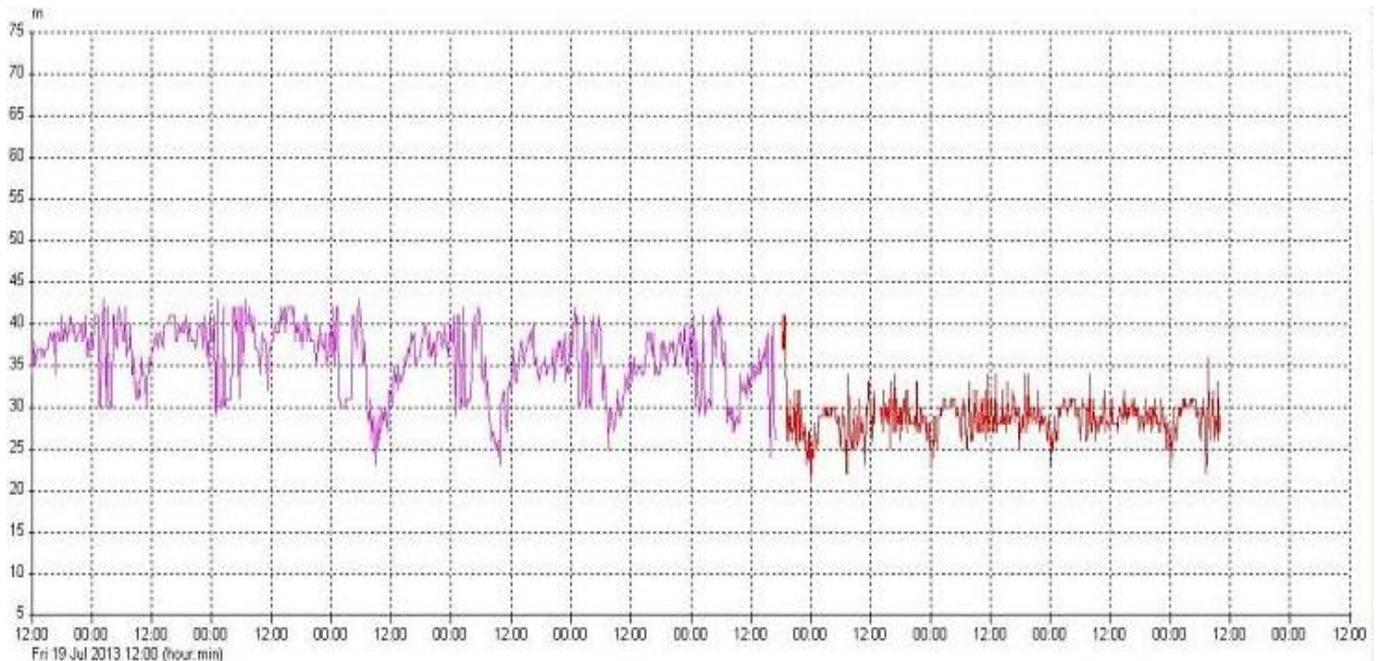


Figura 11. Pressão em Côte Real com as modulações horária (a rosa) e pelo PC (a vermelho) da VRP da Avenida da Boavista.

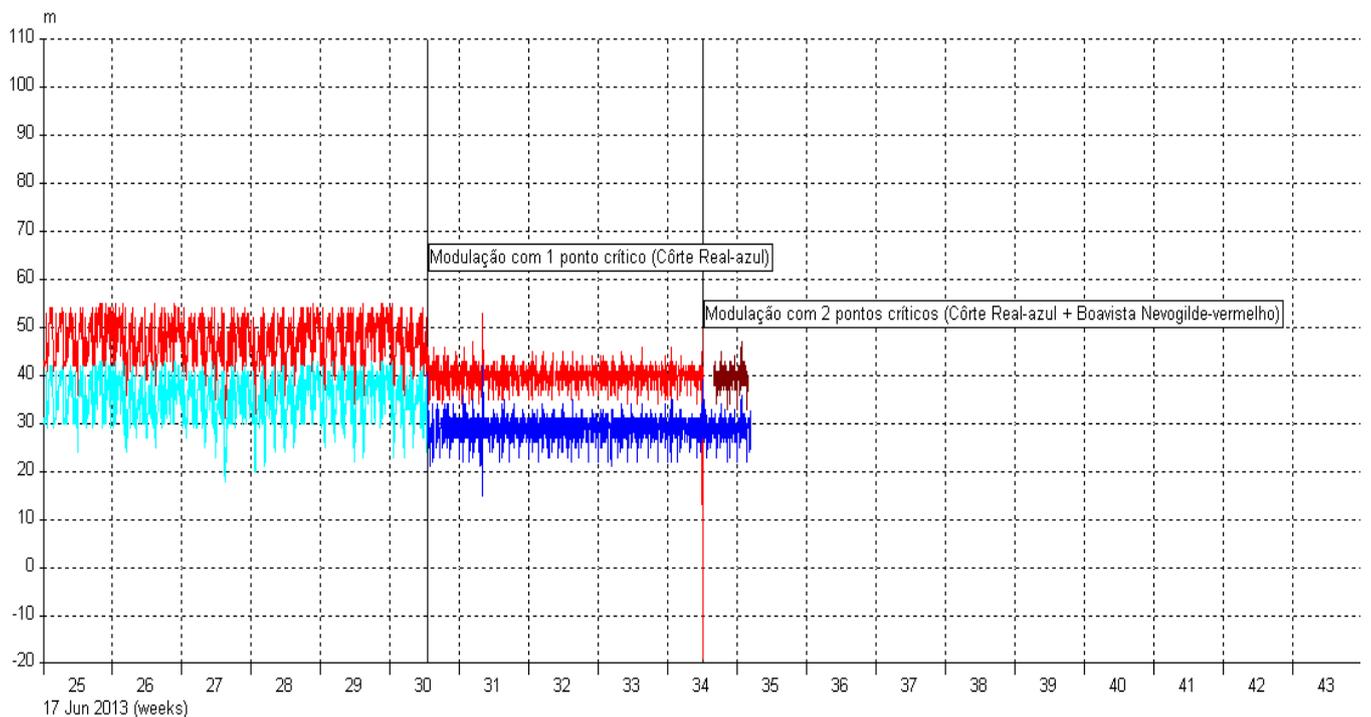


Figura 12. Pressão nos *data loggers* de Côte Real e de Boavista Nevogilde com a instalação das modulações com um e com dois PC na VRP da Avenida da Boavista.

#### 4.6. Simulação de incêndio

De forma a testar a fiabilidade das várias modulações estudadas da VRP de Preciosa-Mar, realizou-se uma simulação de incêndio em dois pontos distintos da rede para se averiguar a capacidade de resposta do sistema redutor. Para tal, foi adicionado um incremento de consumo nodal de incêndio (81 m<sup>3</sup>/h segundo o Decreto Regulamentar n.º23/95, Art.17.º) durante o período mais crítico de consumo, ou seja, entre as 12h e 13h, Figura 13.

Com o objetivo de obter uma simulação mais abrangente, realizaram-se dois cenários distintos, com dois pontos da rede (um a norte e outro a sul) a serem sujeitos, em fases distintas, a este consumo extraordinário, como é possível verificar pelos resultados obtidos nas Figuras 14 a 17.

Através dos resultados obtidos constata-se que, para o caso real estudado, se fosse necessário por parte dos bombeiros recorrer a um hidrante para o combate a um incêndio na parte sul da rede (Figura 15), poderiam ocorrer falhas de pressão que condicionariam o abastecimento de água nas condições de conforto e segurança em todos os pontos, sendo principalmente afetada a parte sul da rede.

Contudo, para o caso do incêndio ocorrer na parte norte da rede (Figura 14), o abastecimento não seria comprometido uma vez que as pressões não são afetadas.

No entanto, se o controlo do caudal da VRP for alterado para que, perante uma situação excecional como é o caso, a válvula funcione completamente aberta de forma a não provocar perda de carga e garantir a máxima pressão possível a jusante, os resultados dessa alteração são os apresentados na Figura 16.

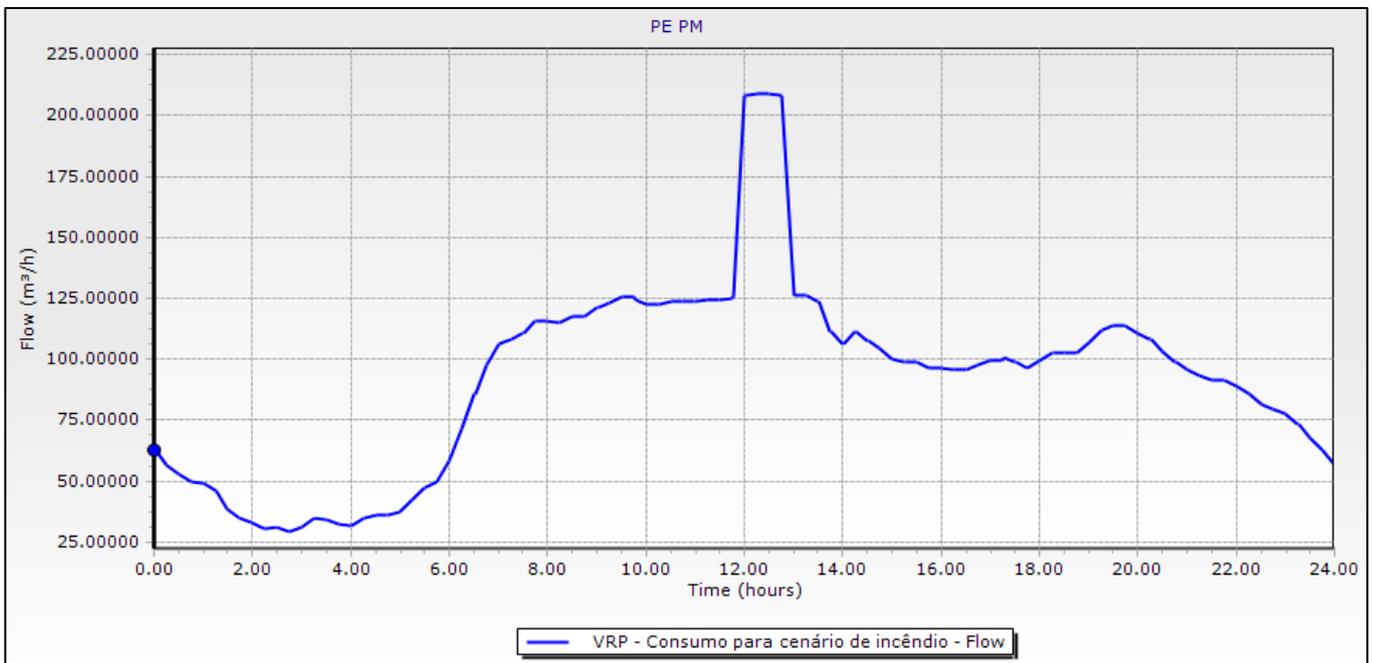


Figura 13. Incremento de caudal entre as 12h e as 13h no perfil diário de consumo da ZMC de Preciosa-Mar.

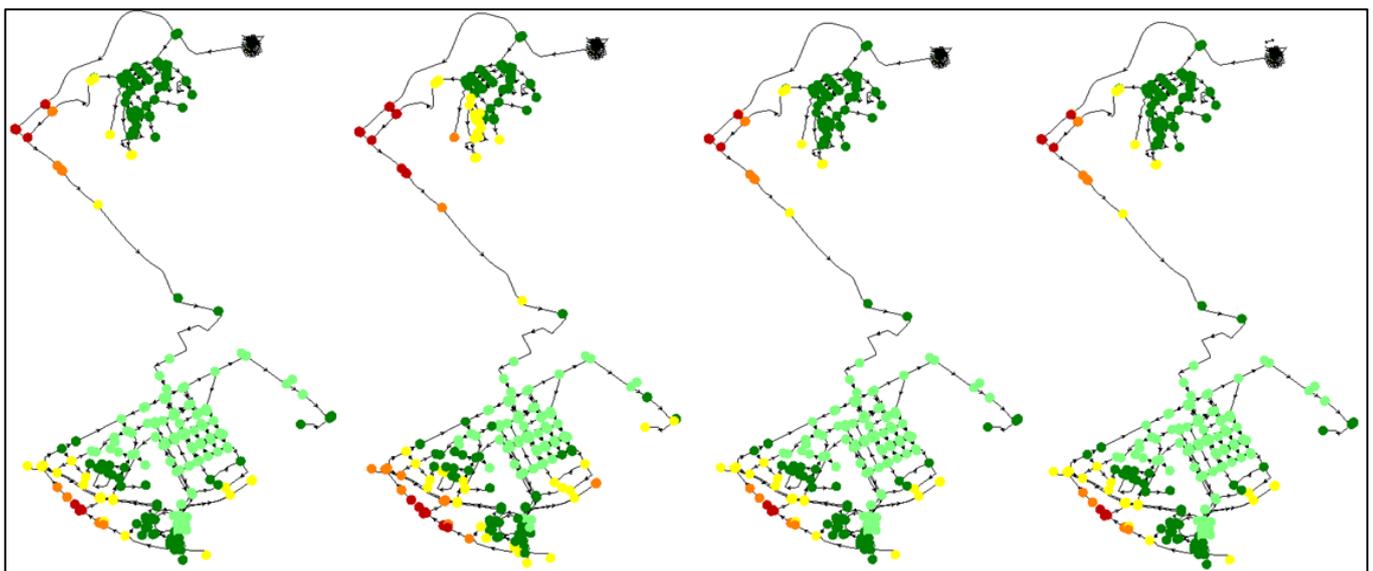


Figura 14. Padrão de pressões na rede durante o período de incêndio na parte norte da ZMC para as modulações com saída fixa de pressão (em cima à esquerda), horária existente (em cima ao centro), pelos PC (em cima à direita) e pelo caudal (em baixo à esquerda).

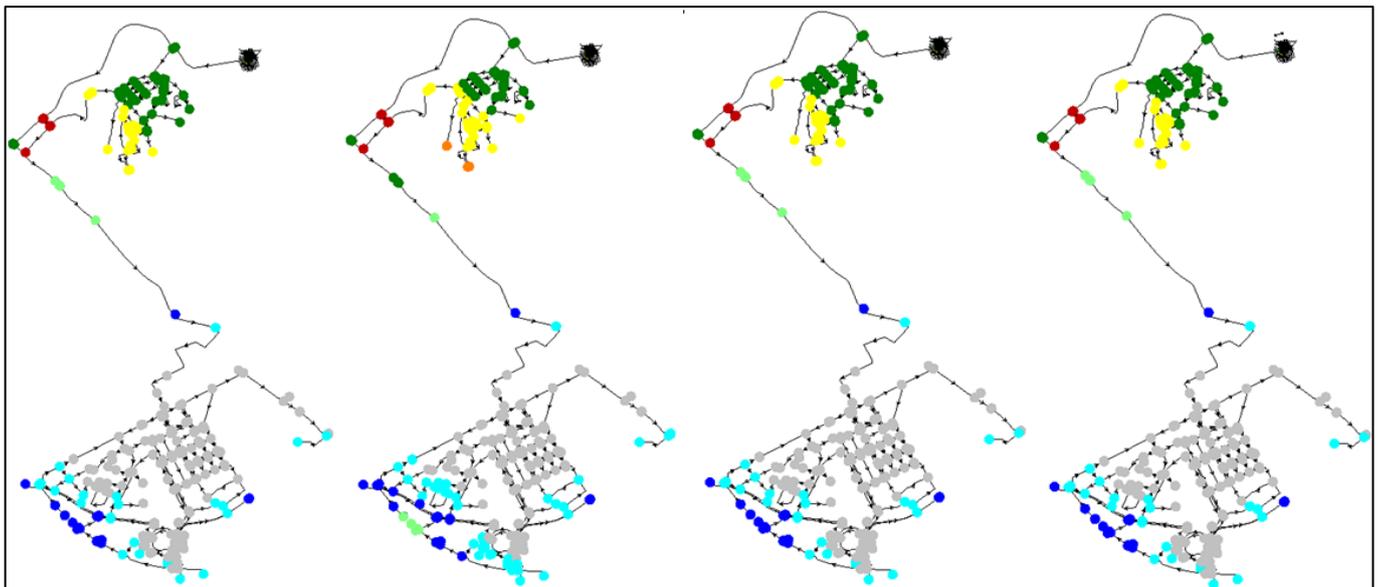


Figura 15. Padrão de pressões na rede durante o período de incêndio na parte sul da ZMC para as modulações com saída fixa de pressão (em cima à esquerda), horária existente (em cima ao centro), pelos PC (em cima à direita) e pelo caudal (em baixo à esquerda).

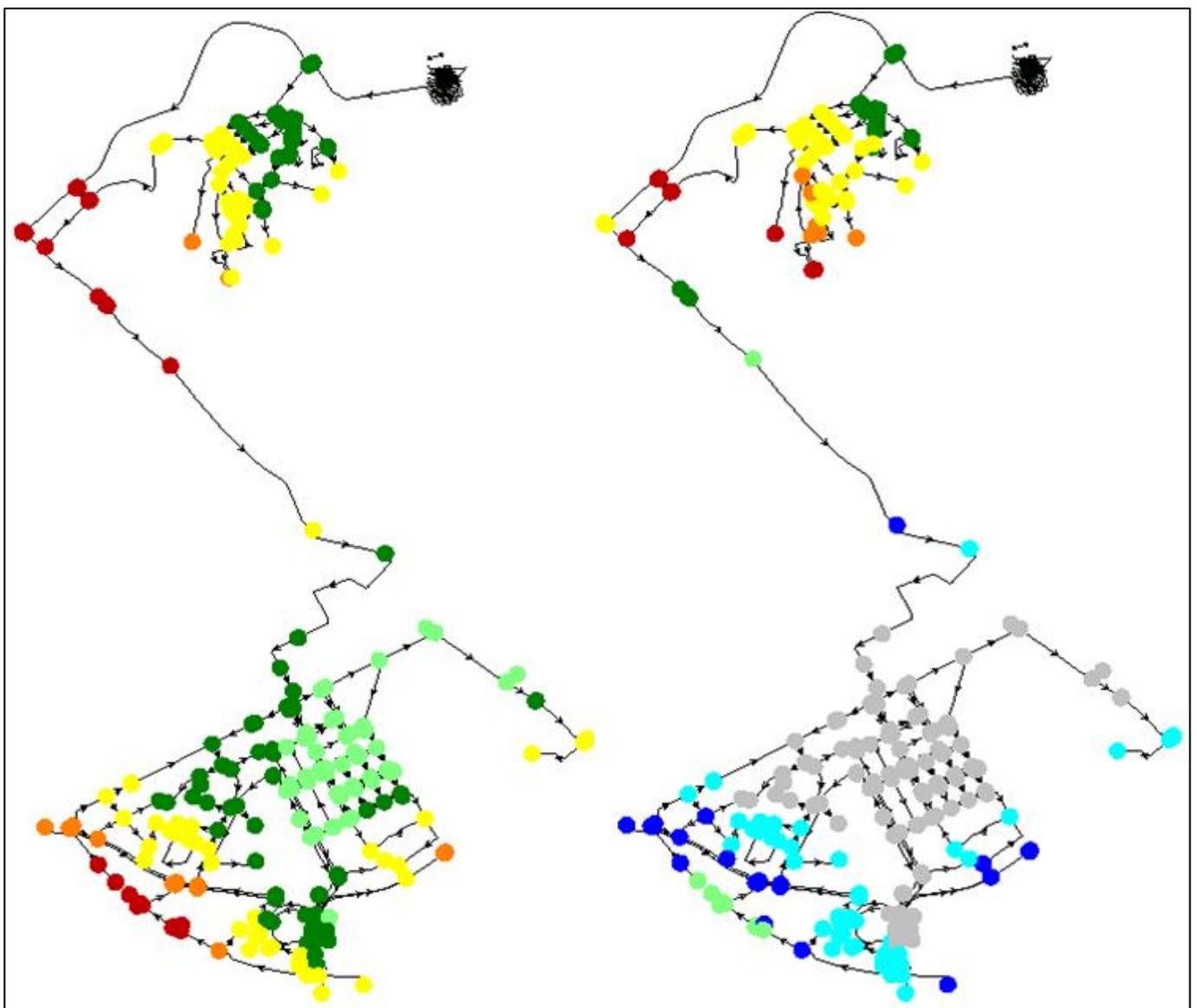


Figura 16. Padrão de pressões na rede durante o período de incêndio na parte norte (esquerda) e sul (direita) da ZMC para o caso da VRP totalmente aberta.

Color Coding Legend		
Junction: Pressure (m H2O)		
		Value
2...	<=	0.00
2...	<=	10.00
2...	<=	20.00
2...	<=	35.00
2...	<=	45.00
2...	<=	55.00
2...	<=	60.00
2...	<=	85.00
2...	<=	Other

Figura 17. Legenda das pressões.

Como se verifica pela figura anterior, mesmo com a VRP a funcionar em abertura total, os efeitos decorrentes de um incêndio na parte sul da rede fazem-se sentir no

abastecimento nas condições mínimas exigidas. Esta situação pode ser colmatada através da abertura de válvulas de limite de zona e permitir o abastecimento a partir da ZMC adjacente. Esta solução apresenta, contudo, o inconveniente da quantidade de água que transita entre zonas não ser medida, uma vez que não existem medidores de caudal nesses pontos.

## 5. Conclusões

Fruto de uma pesquisa bibliográfica detalhada e de um estudo de duas ZMC concretas do SAA da cidade do Porto à escala real, ficou provado que, na impossibilidade de equilibrar as pressões na rede de distribuição, o controlo da pressão através da instalação de VRP é o método mais acessível, eficaz e imediato para reduzir as perdas de água reais de água na rede.

Da análise das várias formas de controlo avançado de VRP, a modulação com saída fixa de pressão é a mais simples, apresentando resultados eficazes e imediatos ao nível da redução da pressão na rede e, conseqüentemente, das perdas reais.

Contudo, com um maior investimento (controladores eletrónicos e demais equipamentos necessários), outras modulações permitem obter melhores resultados, sendo a modulação pelo PC a que apresenta uma melhor redução da flutuação da pressão e das perdas na rede.

A modulação pelo caudal apresentou fracos resultados, uma vez que a quantidade de água perdida pelas fugas aumenta devido à atuação do controlador eletrónico ao aumentar a pressão de saída perante um aumento do consumo na rede.

Com este estudo conclui-se que, ao reduzir a pressão na rede, embora se diminua a quantidade de água perdida pelas fugas, estas tornam-se cada vez mais impercetíveis pelo CAP, permanecendo ativas durante mais e demasiado tempo, sendo o maior inconveniente de todo este processo.

Através da extrapolação do método de redução de pressão, ficou provada a transversalidade deste à EG com conhecimentos menos detalhados dos consumos médios diários, revelando-se eficaz na redução das perdas e no estudo da melhor localização para a instalação de VRP.

Da implementação no terreno da modulação pelo PC na VRP da Avenida da Boavista verificou-se uma redução acentuada da pressão na zona, da sua flutuação diária, bem como do caudal mínimo noturno, o que é claramente benéfico para a EG em questão.

No entanto, aquando da implementação do segundo PC na mesma zona, esta modulação não se revelou mais eficaz relativamente à modulação com apenas um PC. Isto deve-se à reduzida dimensão da respetiva zona de implantação em estudo e à relativa proximidade dos dois PC utilizados na modulação.

Por último, no que diz respeito à simulação de incêndio, ficou provado que, perante a ocorrência duma ocorrência do tipo da que foi estudada, a VRP da ZMC de Preciosa-Mar não permite garantir o abastecimento nas condições de conforto e segurança em todos os pontos da rede.

Mesmo com a modulação pelo caudal em que a VRP reage ao aumento do consumo na rede, no caso de estudo a abertura total da válvula não se revela suficiente para garantir o abastecimento, pelo que se teriam de abrir os limites da zona, com os inconvenientes que isso teria inevitavelmente.

## 6. Estudos Futuros

Perante os resultados obtidos através das várias simulações realizadas no programa *WaterGEMS* e uma vez que apenas foi considerado um expoente N da lei de vazão do orifício de fuga igual a 0.5, seria conveniente e benéfico realizar novamente as simulações para vários expoentes, de modo a obter a melhor calibração do caudal de fuga através dos dados de cadastro das EG.

De um ponto de vista geral, a realização de uma análise de custo-benefício das várias soluções de modulação de VRP revela-se fundamental de modo a contrabalançar os prós e os contras de cada opção com vista à obtenção da melhor solução a implementar para cada caso.

Por último, do ponto de vista mais técnico e específico, uma vez que a modulação que melhores resultados apresentou foi a modulação pelo PC, seria importante a implementação deste tipo de modulação, com um e posteriormente mais PC, numa zona de abastecimento com dimensões superiores e características diferentes à deste estudo para avaliação da sua fiabilidade.

## Agradecimentos

A realização do presente trabalho não seria possível sem o apoio da empresa Águas do Porto, EM, quer ao nível do software, informações e dados de cadastro disponibilizados, quer ao nível humano por parte de todos os colaboradores da empresa e fornecedores envolvidos.

## Referências

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.

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.

ERSAR (2013). *A regulação como instrumento para a melhoria da eficiência e da eficácia nos serviços públicos de águas e resíduos*, Fórum iGPI: A visão da ERSAR sobre a GPI, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa.

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*, 12<sup>th</sup> Annual CWWA Water, Wastewater & Solid Waste Conference

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.

Martins, J.P. (2012). *Redução das Perdas Físicas no Balanço Hídrico da Água*, 7<sup>a</sup> Expo Conferência da Água.