

# Modelação de sistemas de abastecimento de água.

## O CASO DE ILHA DA MADEIRA

MODELACIÓN  
 DE SISTEMAS DE  
 ABASTECIMIENTO  
 DE AGUA.

El caso de la isla de Madeira

MODELLING  
 WATER SYSTEM  
 SUPPLIES.

The case of Madeira island

MODÉLISATION  
 DES SYSTÈMES  
 D'APPROVISIONNEMENT  
 EN EAU.

Le cas de l'île de Madère

### Sérgio Lousada<sup>1</sup>

Ph.D. em Engenharia Civil  
 University of Madeira  
 slousada@staff.uma.pt  
<https://orcid.org/0000-0002-8429-2164>

### Pedro Soares-da Silva<sup>2</sup>

Mestrado em Engenharia Civil  
 University of Madeira  
 pedroalexsilva23@gmail.com

### Rui Alexandre Castanho<sup>3</sup>

Ph.D. em Planejamento Urbano  
 Sustentável em Áreas Transfronteiriças  
 University of Dąbrowa Górnicza  
 acastanho@wsb.edu.pl  
<https://orcid.org/0000-0003-1882-4801>

### José Manuel Naranjo-Gómez<sup>4</sup>

Ph.D. em Geodésia e Cartografia  
 University of Extremadura  
 jnaranjo@unex.es  
<https://orcid.org/0000-0001-7998-9154>

**Recibido:** 21 de mayo 2018

**Aprobado:** 23 de enero 2019

**Cómo citar este artículo:** LOUSADA, S., et al. (2019). "Modelação de sistemas de abastecimento de água. O caso de Ilha da Madeira". *Bitácora Urbano Territorial*, 29 (2): 89-98.

<https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n2.69381>

- <sup>1</sup> Civil Engineering with a Ph.D. in Civil Engineering. He has taught courses in the fields of hydraulics, environment and water resources, and construction at the University of Madeira. He has done research in hydraulic sciences, particularly in the areas of hydraulics, urban hydraulics, and marine and fluvial construction.
- <sup>2</sup> MA in Civil Engineering. Collaborates with the Department of Civil Engineering and Geology (DECG), Faculty of Exact Sciences and Engineering (FCEE) - University of Madeira (UMa).
- <sup>3</sup> BA in Green Spaces Engineering and Agricultural Engineering, MA in Planning, Audit and Control in Urban Green Spaces, and Ph.D. in Sustainable Urban Planning in Transboundary Areas. He collaborates with the Environmental Resources Analysis Research Group (ARAM) - University of Extremadura (UEx) and is doing research for the Department of Landscape, Environment, and Planning at the School of Science and Technology of the University of Évora.
- <sup>4</sup> Engineer in Geodesy and Cartography, Technical Engineer in Topography, and PhD in Geodesy and Cartography from the University of Extremadura. He has undertaken educational and research activities at the University of Extremadura in the fields of sustainability, transport infrastructure, territorial accessibility and geographic information systems (GIS), on which he has published in specialized international journals. He is also a member of the sustainable development research group, having developed several research projects.

---

## Resumo

A temática da insuficiência de água disponível para consumo é essencial no debate social devido à importância natural deste recurso e às previsões de aumentos exponenciais demográficos, o que introduziu uma maior pressão sobre o ciclo deste recurso finito e essencial para a manutenção do equilíbrio natural. A infraestrutura responsável pela sua distribuição deve ser concebida, mantida e explorada eficazmente. Este estudo aborda a modelação e a calibração digital desta tipologia de infraestruturas, recorrendo a um *software* da especialidade, aplicando-o a um caso prático: concelho de Câmara de Lobos, na Ilha da Madeira (Portugal). Através deste estudo e da análise do modelo foi possível verificar as elevadas perdas no sistema de distribuição, além das causas, i.e. elevadas pressões e velocidades a que estão sujeitas as componentes da rede, devido à orografia da ilha da Madeira.

**Palavras-chave:** modelação, planeamento urbano, sistemas de abastecimento de água, sustentabilidade de recursos.

---

## Abstract

Insufficiency of water available for consumption constitutes a central role in the social debate due to the natural importance of this resource and the predictions of the exponential demographic increase, putting more pressure on the cycle of this finite resource essential for natural equilibrium. Therefore, the infrastructure responsible for its distribution must be conceived, maintained and exploited more efficiently. This study deals with the modeling and digital calibration of this type of infrastructures, resorting to a specialty software and applying it to a practical case: the municipality of Câmara de Lobos, on the island of Madeira (Portugal). Through the study and analysis of the model it is possible to verify the high losses in the distribution system and its causes, which are the high pressures and speeds to which the network components are subject due to the particular orography of the island.

**Keywords:** modelling, urban planning, water supply systems, resources sustainability.

---

## Resumen

La insuficiencia de agua disponible para el consumo constituye un papel central en el debate social por la importancia natural de este recurso y las previsiones del aumento exponencial demográfico, introduciendo mayor presión sobre el ciclo de este recurso finito esencial para el equilibrio natural. Por ello, la infraestructura responsable de su distribución deberá ser concebida, mantenida y explotada de forma más eficiente. Este estudio aborda la modelación y calibración digital de dicha tipología de infraestructuras, recurriendo a un *software* de la especialidad y aplicándolo a un caso práctico: el municipio de Câmara de Lobos, en la isla de Madeira (Portugal). A través del estudio y análisis del modelo es posible verificar las pérdidas elevadas en el sistema de distribución y sus causas, que son las elevadas presiones y velocidades a las que están sujetos los componentes de la red debido a la orografía particular de la isla.

**Palabras clave:** modelación, planificación urbana, sistemas de abastecimiento de agua, sostenibilidad de recursos.

---

## Résumé

L'insuffisance d'eau disponible pour la consommation a joué un rôle central dans le débat social en raison de l'importance naturelle de cette ressource et des prévisions d'augmentations exponentielles démographique, introduisant une pression accrue sur le cycle de cette ressource finie et essentielle à l'équilibre naturel. Par conséquent, l'infrastructure responsable de leur distribution devrait être conçue, entretenue et exploitée plus efficacement. Cette étude traite de la modélisation et de l'étalonnage numériques de cette typologie d'infrastructures, en utilisant un logiciel de la spécialité et en l'appliquant à un cas concret : la municipalité de Câmara de Lobos à l'île de Madère (Portugal). Grâce à l'étude et à l'analyse du modèle, il est possible de vérifier les pertes élevées dans le système de distribution, ainsi que leurs causes, qui sont les pressions et vitesses élevées auxquelles sont soumis les composants du réseau, en raison de l'orographie particulière de l'île.

**Mots-clés:** durabilité des ressource,; modélisation, planification urbaine, systèmes d'approvisionnement en eau.

## Introdução

Ao longo dos últimos anos, questões relacionadas com a insuficiência de água para consumo têm sido cada vez mais relevantes devido a um aumento demográfico exponencial, além do aumento dos níveis de consumos e da poluição libertada com impacto expressivo nas alterações ao equilíbrio global do ciclo natural da água (Donta, Lange e Herrmann, 2005; Harding, et al., 2011). Os atuais problemas de escassez deste recurso natural, aliados às previsões de um aumento exponencial da sua procura, tornaram a demanda pela eficiência e excelência de todo o processo de conceção e de exploração de sistemas de abastecimento de água, num aspeto essencial no que à sustentabilidade económica e natural diz respeito (Gleick, 1996; Martyusheva, 2014; Castanho, et al., 2017).

A era dos computadores digitais veio introduzir, no mercado, um poder de cálculo nunca antes visto na história da humanidade, possibilitando a resolução de complexos problemas matemáticos (Thomas, 2004; Torres-Tovar, 2019), tais como os relacionados com o cálculo do comportamento hidráulico de redes (Abbasbandy e Asady, 2004), numa tarefa mais acessível e eficiente, trazendo para o alcance de utilizadores comerciais a possibilidade de se realizarem modelos matemáticos digitais de simulação, outrora apenas ao alcance de investigadores, introduzindo no mercado ferramentas digitais capazes de aumentarem a eficiência da conceção e da exploração destes sistemas e, assim, reduzir custos os económicos e naturais (Coelho, Loureiro e Alegre, 2006; Covas e Monteiro, 2008).

A modelação digital de sistemas de abastecimento de água é, atualmente, a forma mais exata e económica de simular o comportamento de um sistema físico real (Martinez e Vargas, 2016), uma vez que este recorre ao enorme poder de cálculo digital existente no mercado, visando a rápida resolução de um conjunto de sistemas de equações de continuidade e de conservação da energia, utilizadas na formulação das condições de equilíbrio hidráulico de redes de distribuição. A partir do uso do poder de cálculo dos computadores modernos, é possível criar uma simulação digital, que represente um modelo realista e fidedigno do sistema em estudo, possibilitando ao projetista: realizar uma avaliação dos comportamentos hidráulicos existentes; testar diversas soluções aos problemas encontrados; e, até, avaliar os resultados das mesmas sem a necessidade de se recorrer a experiências realizadas num sistema real. Este modelo digital permite, assim, tornar o processo de conceção e gestão de sistemas de abastecimento de água num exercício muito mais eficiente. Possibilita, ainda, a previsão e a otimização de cenários energéticos de exploração – ao avaliarem-se os investimentos avultados necessários para conceber e manter sistemas deste tipo, tornam toda a operação economicamente viável (Bezerra, 2009; Goldman, et al., 2000; Gomes, 2011).

O presente estudo procura abordar as competências necessárias para a modelação e a análise de sistemas de abastecimento de água, ao nível do planeamento e projeto de um sistema novo, bem como ao nível do diagnóstico de sistemas já existentes, visando melhorar a sua eficiência, bem como aliá-lo a processos de planeamento urbanístico. A investigação desta temática poderá conduzir à conceção e à reabilitação de sistemas mais eficientes na forma como distribuem o recurso, conduzindo a sistemas mais viáveis tanto no âmbito económico como social – sustentáveis.

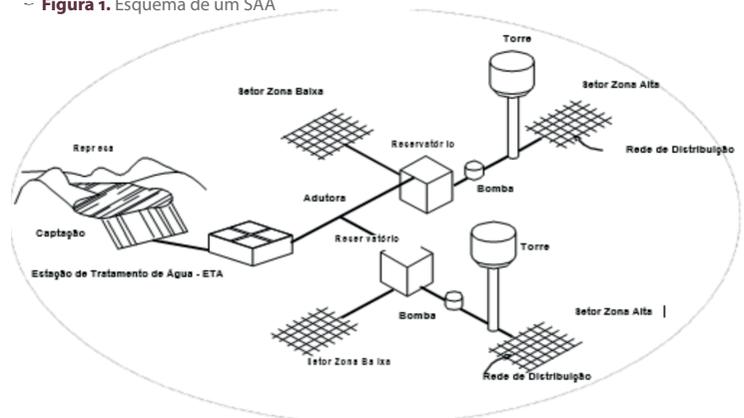
Neste sentido, e considerando a multidisciplinaridade necessária para gerir temáticas desta natureza, é colocada a seguinte questão: modelos hidráulicos de sistemas de abastecimento de água podem contribuir para diretrizes para um planeamento urbano sustentável e, conseqüentemente, para as tão desejadas cidades inteligentes/*smart cities*?

## Sistemas de abastecimento de água

Um sistema de abastecimento de água (SAA) (Figura 1) é a infraestrutura responsável pela extração de água ao meio natural, pela adequação da sua qualidade, pelo seu transporte até aos aglomerados urbanos e pela sua distribuição aos consumidores em níveis qualitativos e quantitativos admissíveis (Tsujiya, 2005; Gomes, 2009; Soares, 2010). Os SAA são caracterizados como infraestruturas com um desenvolvimento longitudinal extenso, condicionadas pela topografia sobre a qual estão implantados, pela localização das origens de água, pela dispersão espacial e pela flutuação temporal das solicitações, por apresentarem uma execução complexa e morosa, de difícil reformulação envolvendo elevados investimentos de capitais e de recursos (Porto, 2006).

Um SAA é constituído por diferentes partes, cada uma das quais com uma função distinta, às quais correspondem diversos órgãos materializados sob a forma de construções civis, equipamentos elétricos, eletromecânicos e acessórios (Sousa, 2001a, 2001b, 2001c). Na Tabela 1 estão discriminadas as partes constituintes de um SAA.

Figura 1. Esquema de um SAA



Fonte: autores.

Tabela 1. Composição de um SAA

Partes	Órgãos	Função
Captação	Obras de captação	Retirada de água bruta das origens naturais, superficiais ou subterrâneas, em concordância com as disponibilidades hídricas e necessidades de consumo.
Elevação	Estações elevatórias e sobreprensoras	Bombeamento de água, bruta ou tratada, entre dois pontos com um desnível positivo.
Transporte ou adução	Adutores, aquedutos e canais	Transportar o recurso desde a sua captação até ao ponto de distribuição. Este pode ser: Sob pressão (por gravidade ou bombagem). Em superfície livre (aquedutos e canais).

Partes	Órgãos	Função
Tratamento	Estações de tratamento de água (ETA)	Produzir água potável através do tratamento de água bruta, respeitando as normas de qualidade.
Armazenamento	Reservatórios	Funcionar como volante de regularização, compensando as flutuações de consumo em relação à adução. Compor provisões de emergência para combater a incêndios ou para casos de interrupções, voluntárias ou acidentais do sistema a montante. Manter o equilíbrio de pressões na rede de distribuição. Regularizar o funcionamento das bombagens.
Distribuição exterior	Rede pública de distribuição	Conjunto de tubagens e acessórios, como juntas, válvulas, hidrantes e instrumentação (medição de caudal e de pressão), destinado a transportar água desde os reservatórios até aos locais de consumo.
Ligação domiciliária	Ramais de ligação	Garantem o abastecimento predial de água, desde a conduta principal da rede de distribuição do arruamento até ao limite da propriedade a servir, em boas condições de pressão e caudal.

Fonte: Sousa (2001a; 2001b; 2001c).

Após observação da Tabela 1 podemos verificar a correlação entre os subsistemas e os relativos órgãos que os constituem:

- O sistema em alta é constituído pelas componentes relativas à produção e à adução a montante da rede pública de distribuição, nomeadamente, a captação, o transporte, o tratamento e os reservatórios de entrega (Alves, 2012).
- O sistema em baixa é constituído pelas componentes relativas à distribuição a jusante do sistema em alta, nomeadamente, de condutas e respetivas derivações e de reservatórios pertencentes à rede pública de distribuição (Alves, 2012).

A caracterização peculiar e complexa destas infraestruturas, essenciais ao tecido urbano, aliada ao facto destes sistemas serem responsáveis pela alocação de um recurso finito e fundamental ao desenvolvimento sustentável do planeta, fazem com que todo o processo de conceção e de planeamento destes sistemas adquira uma importância vital (Britton, Stewart e O'Halloran, 2013).

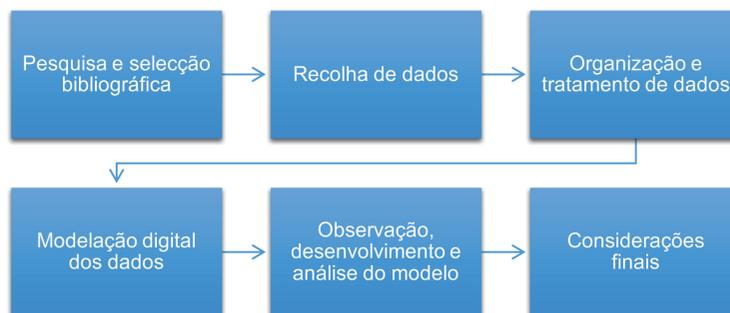
O principal indicador da eficiência de serviço destes sistemas está relacionado com o controlo e a minimização das perdas de água (Morais, Cavalcante e Almeida, 2010). A diminuição destas permite reduzir custos de produção e de transporte, através da redução dos consumos energéticos e de uma melhor racionalização da utilização de produtos químicos no tratamento, e tem um grande impacto na gestão das reservas naturais do planeta (Olaia, 2012).

Para garantir a qualidade de vida, o investimento em saneamento básico é essencial, considerando dois fatores primordiais: a disponibilidade de água e a energia. O consumo mundial de energia nas redes de distribuição de água representa aproximadamente 7% da energia global. Por este motivo, deve ser alvo de maior atenção e objeto de estudos, tendo igualmente em conta as preocupações com o desenvolvimento sustentável, e com a melhoria da eficiência energética nos sistemas de abastecimento de água (Coelho e Campos, 2014).

## Abordagem metodológica

Contextualmente, foi utilizada uma metodologia quantitativa, caracterizada pelo emprego da quantificação no processo de recolha de dados e no tratamento dos mesmos pelo recurso a técnicas estatísticas, sendo a metodologia frequentemente aplicada a estudos científicos descritivos e ideal para estudos hidráulicos. Abaixo encontra-se um esquema, resumindo a metodologia utilizada (Figura 2).

Figura 2. Esquema de abordagem metodológica



Fonte: autores.

## Caraterização das Áreas de Estudo

A sociedade responsável pela gestão e pela exploração do sistema de abastecimento de água do concelho de Câmara de Lobos é a Águas e Resíduos da Madeira, S.A. (ARM) sociedade composta exclusivamente por capitais públicos (ARM RC, 2014; 2015; 2016).

A empresa concessionária serve uma população de cerca de 81.400 habitantes, distribuídos por cinco municípios, totalizando um abastecimento em alta de 13,968,264 m<sup>3</sup>/ano. Do volume total aduzido aos sistemas de abastecimento foram faturados 4,578,445 m<sup>3</sup>, nos pontos de consumo, o que representa uma perda global na ordem dos 71.0% (Tabela 2). Refram-se, entre outros, as perdas técnicas e os consumos não faturados, a percentagem extremamente elevada para viabilizar qualquer tentativa de equilíbrio financeiro e económico das concessões com base, unicamente, no tarifário cobrado (ARM RC, 2014; 2015; 2016).

As perdas por ineficiência, registadas nos municípios aderentes, indicam que há uma necessidade imperativa de se proceder a melhoramentos na rede de distribuição de água potável por forma a mitigar as referidas perdas, tornando o sistema mais eficiente, economicamente viável e sustentável (ARM RC, 2014; 2015; 2016).

A casuística selecionada para a realização do estudo, corresponde à Avenida da Nova Cidade, do concelho de Câmara de Lobos (Figura 3). Esta é uma avenida onde estão implantados empreendimentos habitacionais, comerciais e de serviços, havendo, portanto, diferentes tipos de consumos, em função da sua finalidade.

**Tabela 2.** Perdas por ineficiência nos municípios da ARM

Municípios	Água aduzida aos sistemas de abastecimento (m3/ano)	Água proveniente de nascentes (m3/ano)	Quantidade de água facturada (m3/ano)	Perdas por ineficiência (%)	Média mensal de consumo de água (m3)	Consumo per capita(l/hab.dia)
Câmara de Lobos	4,648,909	251,305	1,548,520	68	129,043	121.9
Ribeira Brava	1,475,655	240,676	718,923	58	59,910	152.8
Machico	6,623,904	157,952	1,210,684	82	100,890	156.9
Santana	407,153	1,218,102	501,944	69	41,829	189.1
Porto Santo	812,643	0	598,374	26	49,865	309.4
TOTAL	13,968,264	1,868,035	4,578,445	71	381,537	Média: 154.1

Fonte: ARM RC (2014; 2015; 2016).

**Figura 3.** Planta da rede pública de distribuição da Avenida da Nova Cidade, do concelho de Câmara de Lobos



Fonte: autores.

## Métodos de análise

A construção de um modelo de simulação passa, numa fase inicial, por coligir informação relevante ao seu funcionamento. No caso de um modelo hidráulico torna-se necessário conhecer, previamente, as seguintes características (Pinto, 2010; Coelho, Loureiro e Alegre, 2006):

- Topologia, geometria, altimetria e características da infraestrutura física capazes de influenciar o comportamento hidráulico, tais como condutas, válvulas, reservatórios e bombas, caso existam.
- Solicitações ao sistema em estudo, materializadas sob a forma de consumos e caudais, distribuídos espacial e temporalmente.
- Funcionamento operacional do sistema, caso seja necessária a simulação de cenários de gestão técnica.

Iniciou-se a construção do modelo para o qual se definiram as unidades dos parâmetros a analisar. Uma vez que o *software* de análise hidráulica utilizado (Environment Protection Agency Network - EPANET) não possui uma plataforma de inserção de ficheiros CAD, realizou-se uma conversão do mesmo com o recurso a um *software* complementar, i.e., DXF2EPA - programa executável que permite importar uma rede de abastecimento desenhada em AutoCAD para o EPANET.

Posteriormente à sua determinação, os referidos parâmetros foram importados para o *software*, conduzindo a um modelo passível de ser analisado em relação às condicionantes que interessam ao projetista e/ou atores envolvidos no processo.

## Resultados e análise

Após a construção do modelo foi possível realizar análises ao comportamento hidráulico da rede. Neste sentido, iniciaram-se análises às pressões, definindo-se, numa primeira fase, os intervalos de pressões legalmente estabelecidos e convertidos a metros coluna de água.

**Equação 1.** Pressão (m.c.a.)

$$p_{min} = 10 + 4 \times n \text{ (m. c. a.)}$$

$$p_{max} = 60 \text{ (m. c. a.)}$$

n - número de pisos servidos acima do solo.

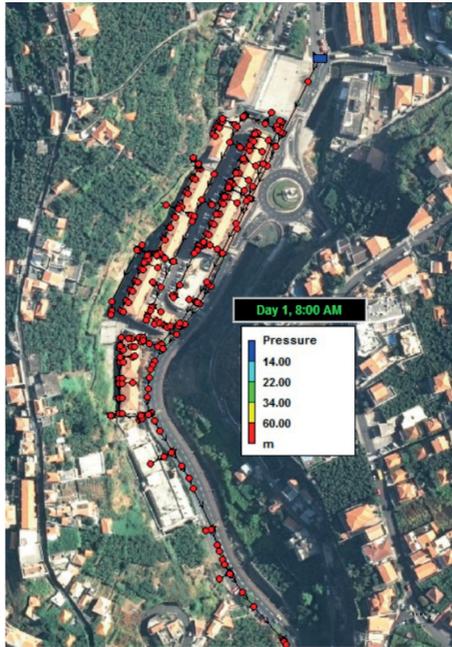
A equação 1 permite calcular a pressão necessária ao nível do solo, em função do número de pisos de cada edifício a abastecer.

Os intervalos intermédios a considerar, nesta modelação, correspondem: à pressão mínima para edificações de um só 1 piso (R/C - Rés do Chão = 14 m.c.a.); ao valor intermédio para construções com 3 pisos acima do solo (R/C + 2 = 22 m.c.a.); a outro valor intermédio para infraestruturas com 6 pisos acima do solo (R/C + 5 = 34 m.c.a.); e ao valor máximo regulamentar de 60 m.c.a..

Posteriormente, foi analisado o sistema à hora de maior consumo (08:00), sendo que é, nesta hora, que, empiricamente, se verificam as pressões mais baixas. Uma vez realizada a análise dos resultados, concluiu-se que, neste modelo base, as pressões resultantes são todas superiores à pressão máxima regulamentar de 60 m.c.a.

Este facto é resultante da topografia acidentada da zona analisada, o que motiva significativas variações altimétricas, oscilações entre o ponto de energia (reservatório) e os pontos de consumo, originando cargas piezométricas elevadas. Deve ser salientada, ainda, a considerável extensão da rede, desvalorizando as perdas contínuas e localizadas de energia, existentes a montante do arruamento em estudo, pela sua morosidade de cálculo (dimensão da rede) (Figura 4).

**Figura 4.** Distribuição espacial das pressões à hora de maior consumo (08:00) no modelo base



Fonte: autor.

Posteriormente, analisaram-se as velocidades, ao longo das tubagens (no modelo base), salientando-se que a análise em apreço de velocidades foi realizada para os caudais de ponta instantâneos, e não para os caudais de ponta, no horizonte de projeto da infraestrutura, como sugere o regulamento vigente – perfazendo uma análise meramente indicativa (Figura 5).

**Figura 5.** Distribuição espacial das velocidades à hora de maior consumo (08:00) no modelo base



Fonte: autor.

Contextualmente, considerou-se o enunciado estabelecido legalmente para a velocidade mínima, i.e., para o caudal de ponta toma o valor de 0.3 m/s – sendo a velocidade máxima em m/s (Equação 2).

**Equação 2.** Velocidade máxima (m/s)

$$v_{max} = 0.127 \times Di^{0.4}$$

*Di* - diâmetro interno da tubagem em mm.

Para realizar o enquadramento legal do sistema de distribuição em análise, recorreu-se aos órgãos de regulação, manobra e segurança, disponíveis no EPANET, por forma a: adequar as pressões verificadas; reavaliar as opções relativas aos diâmetros internos adotados de modo a reduzir as velocidades excessivas verificadas, sabendo-se que, ao aumentar os diâmetros reduzem-se as velocidades verificadas. Portanto, foi adotada, nesta fase, uma pressão mínima conservativa para o arruamento de 34 m.c.a. (Equação 1), equivalente a um edifício de 6 pisos e suficiente para realizar o abastecimento, em altura, de todos os empreendimentos ao longo do desenvolvimento do arruamento.

Contudo, verificou-se que, à hora de ponta, existiam pressões inferiores à mínima, assim, adotou-se o valor de 35 m.c.a. como valor da pressão, a montante do arruamento – já que todo o sistema fica enquadrado legislativamente em termos de pressões máximas, para as horas do dia com menores solicitações, e em termos de pressões mínimas, durante as horas de ponta (Figura 6).

**Figura 6.** Distribuição espacial das pressões à hora de maior consumo (08:00), no modelo alterado, com uma VRP definida para a pressão de 35 m.c.a.



Fonte: autores.

Posteriormente, retiraram-se os valores das pressões de entrada nos empreendimentos (Tabela 3) (resultados do Modelo base com uma VRP - válvula redutora de pressão).

Embora a gama de pressões verificada seja suficiente para a verificação da pressão mínima e da máxima em todos os empreendi-

mentos, existem ainda, diferenças em relação à pressão mínima desnecessárias e contraproducentes ao bom funcionamento hidráulico do sistema predial de distribuição.

Com o intuito de minimizar os desgastes nas tubagens da rede de distribuição, isto é, minimizar o diferencial entre a pressão verificada e a pressão mínima regulamentar, por um lado, modelaram-se novas

válvulas redutoras de pressão, ao longo da rede, adequando a pressão de entrada ao número de pisos a abastecer; por outro, promoveu-se uma redução da pressão média de entrada nas derivações privadas, garantindo maior sustentabilidade económica, eficiência e rendimento global dos sistemas prediais, a longo prazo. Estas foram inseridas à entrada dos empreendimentos a servir por constituir o ponto de transição entre a rede pública de distribuição e a rede predial.

**Tabela 3.** Pressões mínimas, ao nível do solo, e pressões verificadas nos nós de entrada para as diferentes infraestruturas para a hora de ponta no Modelo base + 1 VRP (08:00)

Nome da Infraestrutura	Tipo de Consumo	Nó de Entrada	Nº Pisos servidos (acima do solo)	Pressão mínima (m.c.a.)	Pressão verificada (m.c.a.)	Verificação	Excesso de Pressão (m.c.a.)
Bloco A	Habitacional	252	5	30	48.49	OK	18.49
Bloco B	Habitacional	142	5	30	46.05	OK	16.05
Bloco C	Habitacional	35	5	30	40.39	OK	10.39
Bloco D	Comercial	216	1	14	39.37	OK	25.37
	Habitacional	153	5	30	39.91	OK	9.91
Bloco E	Habitacional	121	5	30	39.15	OK	9.15
Bloco F	Habitacional	124	5	30	37.80	OK	7.80
Bloco G	Comercial	141	1	14	40.28	OK	26.28
	Habitacional	152	5	30	37.24	OK	7.24
Bloco H	Comercial	139	1	14	40.28	OK <	26.28
	Habitacional	285	5	30	35.64	OK	5.64
Bloco I	Habitacional	154	5	30	34.93	OK	4.93
Escola Primária	Particular	105	3	22	36.57	OK	14.57
Centro de saúde e Lar de Idosos	Particular	273	5	30	49.68	OK	19.68
				Média	43.52		14.41

Fonte: autores.

Posteriormente à modelação de novas válvulas redutoras de pressão ao longo do sistema, retiraram-se, novamente, os valores da pressão nos nós de entrada dos empreendimentos. Através da análise da Tabela 4 foi possível verificar que já não existem excessos consideráveis de pressão à entrada dos empreendimentos, e que a pressão média de entrada sofreu uma redução de 35.4 % em relação ao modelo constituído por uma única VRP, a montante. Esta redução na pressão de entrada será traduzida num melhor funcionamento técnico da infraestrutura, permitindo uma redução de custos de manutenção, devido ao desgaste e a roturas de condutas, o que implica um aumento da sustentabilidade económica da rede pública e das redes prediais.

Respeitante à sustentabilidade do funcionamento do sistema, refira-se uma outra oportunidade de intervenção, nomeadamente ao nível dos diâmetros internos escolhidos para a conduta principal, de modo a obter uma redução das velocidades excessivas verificadas nas tubagens do modelo base. A gama de pressões, verificada nesta fase, já permite realizar um aumento do diâmetro interno da conduta principal, desde que a pressão máxima de serviço, da conduta, adotada não seja inferior à das pressões verificadas no modelo. Portanto, foi aumentado o diâmetro interno da conduta principal para o valor de 150.6 mm, cuja pressão máxima de serviço se situa no valor de 600 kPa (aproximadamente 60 m.c.a.).

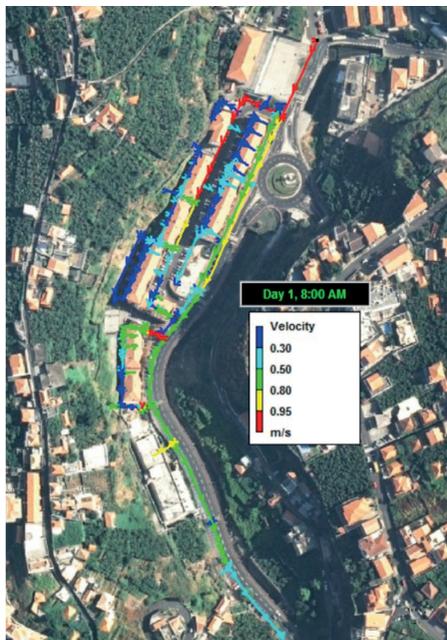
**Tabela 4.** Pressões mínimas ao nível do solo e pressões verificadas nos nós de entrada para a hora de ponta (08:00) após a modelação de novas VRP

Nome da Infra-estrutura	Tipo de Consumo	Nó de Entrada	Nº Pisos servidos (acima do solo)	Pressão mínima (m.c.a)	Pressão verificada (m.c.a)	Verificação	Excesso de Pressão (m.c.a)
Bloco A	Habitacional	252	5	30	30.11	OK	0.11
Bloco B	Habitacional	142	5	30	30.08	OK	0.08
Bloco C	Habitacional	156	5	30	30.06	OK	0.06
Bloco D	Comercial	216	1	14	14.02	OK	0.02
	Habitacional	153	5	34	30.12	OK	0.12
Bloco E	Habitacional	121	5	30	30.32	OK	0.32
Bloco F	Habitacional	124	5	30	30.32	OK	0.32
Bloco G	Comercial	141	1	14	14.03	OK	0.03
	Habitacional	152	5	30	30.04	OK	0.04
Bloco H	Comercial	139	1	14	14.05	OK	0.05
	Habitacional	285	5	30	30.05	OK	0.05
Bloco I	Habitacional	107	5	30	30.11	OK	0.11
Escola Primária	Particular	105	3	22	22.2	OK	0.20
Centro de Saúde e Lar de Idosos	Particular	273	5	30	30.83	OK	0.83
				Média	28.18		0.17

Fonte: autores.

Na nova distribuição espacial das velocidades (Figura 7) pode verificar-se que, com o aumento dos diâmetros internos da conduta principal, as condutas onde se confirmam velocidades excessivas situam-se na ordem dos 18.0 %, - com esta alteração ao modelo este parâmetro sofreu uma redução pouco significativa de 2.0 %.

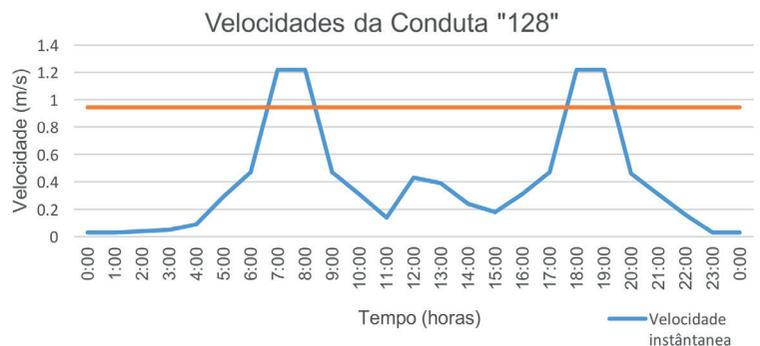
**Figura 7.** Distribuição espacial das velocidades à hora de maior consumo (08:00) no modelo alterado



Fonte: autores.

Para analisar-se o que ocorre no sistema, além das horas de ponta, exportou-se do software a variação diária da velocidade instantânea, numa conduta em que se verificassem velocidades excessivas à hora de ponta, denominada de Conduta "128" (Figura 8).

**Figura 8.** Excedências horárias à velocidade instantânea máxima da Conduta "128"



Fonte: autores.

Da observação da Figura 8, constatou-se que as excedências de velocidades apenas se verificam nas horas de ponta (manhã e final do dia), sendo que, nas restantes horas, os valores obtidos cumprem os requisitos legislativos.

Relativamente à Equação 2, é de notar que a mesma é transcrita da legislação Portuguesa em vigor (DR nº 23/95), a qual refere que as velocidades não podem ser ultrapassadas para o ano de horizonte do projeto. Além disso, como se prevê uma tendência ascendente deste parâmetro hidráulico, com o passar do tempo, devido ao crescimento demográfico, pode inferir-se que este problema só irá intensificar-se futuramente, caso não sejam tomadas medidas e políticas de sustentabilidade.

## Considerações finais

Os SAA são infraestruturas de engenharia civil responsáveis pelo fornecimento de um recurso tão vital às populações como é o da água. Considerando as desafiantes previsões demográficas, é essencial que estes sistemas estejam sujeitos a critérios elevados de eficiência, visando não só a redução de custos mas também a das perdas de água – i.e. redução dos custos de capital inicial e de exploração, os quais se encontram, atualmente, em patamares consideravelmente avultados, o que compromete a sustentabilidade económica dos sistemas em apreço, vitais no tecido urbano – questões definidas como essenciais para um desenvolvimento sustentável.

A possibilidade de utilização de *softwares* de simulação, recorrendo ao enorme poder de cálculo dos computadores atualmente disponíveis, torna todo o processo de cálculo das condições de equilíbrio hidráulicas numa tarefa mais acessível e dinâmica. Contribuem, igualmente, para a eficácia de todo o processo de conceção e previsão de cenários de serviço, numa fase de maior acessibilidade e eficiência - uma vez que permitem a redução de tempos, despendidos anteriormente na morosa tarefa de cálculo hidráulico, libertando o(s) projetista(s) para a vertente de previsão e de análise técnica de cenários de funcionamento de serviço hidráulico.

A eficiência de cálculo verificada permite maior versatilidade e resiliência na previsão de comportamentos hidráulicos, uma vez que permitem a capacidade dos projetistas testarem diversas soluções de serviço analisando a viabilidade técnica de cada uma - numa fase pré-constructiva, o que leva, uma vez mais, a uma redução de custos de investimento inicial.

Após o enquadramento legal do sistema, relativamente a pressões, o estudo analisou uma fase de alteração ao modelo base

enquadrado de modo a serem previstas pressões de entrada nos empreendimentos particulares, o que contribui para a sua fiabilidade. O estudo recorreu a novas válvulas redutoras de pressão na transição entre a rede geral e a rede predial de distribuição, tendo alcançado uma redução do diferencial entre a pressão verificada e a pressão mínima à entrada, na ordem dos 92.3 % (em relação ao modelo base).

O trabalho possibilitou, ainda, verificar, após a análise do modelo, que as elevadas perdas no sistema de distribuição estão associadas a elevadas pressões e velocidades a que os componentes da rede estão sujeitos, devido à orografia da Ilha da Madeira. Por conseguinte, foi possível tornar a distribuição de água num modelo economicamente viável tanto ao nível monetário como ao nível social. Assim, é necessário não só proceder-se a atualizações das componentes da rede, mas também a uma actualização dos diâmetros e dos materiais, para que as perdas de água sejam reduzidas a um valor aceitável.

Neste sentido, é possível encontrar uma relação inequívoca entre a temática de hidráulica abordada e a das questões de planeamento urbanístico. Procurando alcançar economias e territórios sustentáveis, questões de multidisciplinaridade decorrentes não podem ser descuidadas, sendo estas as bases para um tão desejado planeamento sustentável. Assim, cada vez mais, os principais atores e decisores do planeamento urbanístico devem considerar as questões das especialidades, promovendo um crescimento e desenvolvimento sustentáveis, rumo às cidades inteligentes/*smart cities*.

Como última análise, estudos futuros e, de alguma forma, similares, são vistos como catalizadores de uma nova 'geração' de urbanistas – pautados pela promoção de uma melhor qualidade de vida das populações, não comprometendo, todavia, o poder de decisão de planeamento dos territórios para as gerações futuras. 

## Bibliografia

- ABBASBANDY, S. e ASADY, B. (2004). "Newton's method for solving fuzzy nonlinear equations". *Applied Mathematics and Computation*, 159: 349-356.
- ALVES, Z. D. (2012). *Modelação hidráulica de um sistema de distribuição de água - Aplicação a uma zona de Castelo Branco*. Castelo Branco: Instituto Politécnico de Castelo Branco, dissertação de Mestrado em Construção Sustentável.
- ARM RC. (2014). *Relatório de contas*. Funchal: Águas e Resíduos da Madeira.
- ARM RC. (2015). *Relatório de contas*. Funchal: Águas e Resíduos da Madeira.
- ARM RC. (2016). *Relatório de contas*. Funchal: Águas e Resíduos da Madeira.
- BEZERRA, S. T. M. (2009). *Sistema fuzzy para controle piezométrico de sistemas de distribuição de água visando à economia de água e energia*. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, tese de Doutorado em Engenharia Mecânica.
- BRITTON, T. C., STEWART, R. A. e O'HALLORAN, K. R. (2013). "Smart metering: enabler for rapid and effective post meter leakage identification and water loss management". *Journal of Cleaner Production*, 54: 166-176.
- CASTANHO, R. A., et al. (2017). "Facing climate challenges – contributes from cross-border cooperation (CBC)". Serbia, Environment to Europe Conference Proceedings.
- COELHO, B. e CAMPOS, A. A. (2014). "Efficiency achievement in water supply systems - A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30: 59-84.
- COELHO, S. T., LOUREIRO, D. e ALEGRE, H. (2006). *Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- COVAS, D. e MONTEIRO, J. A. (2008). *Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água - Parte 1 - Introdução*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- DONTA, A., LANGE, M. A. e HERRMANN, A. (Eds.). (2005). *Water on Mediterranean islands: current conditions and prospects for sustainable management*. Münster: Centre for Environment Research.
- GLEICK, P.H. (1996). "Water resources". In: S. H. Schneider, T. L. Root e M. D. Mastrandrea (eds.), *Encyclopedia of Climate and Weather*. Volumn 2. Oxford: Oxford University Press, pp. 817-823.
- GOLDMAN, F. E., et al. (2000). "Optimization models for operations". In: *Water Distribution Systems Handbook*. Nova Iorque: American Water Works Association, McGraw-Hill, pp. 16.1-16.47.
- GOMES, H. P. (2009). *Sistema de abastecimento de água - dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias*. João Pessoa: Editora Universitária.
- GOMES, R. J. (2011). *Modelação matemática como ferramenta de gestão e exploração de sistemas de distribuição*. Coimbra: Universidade de Coimbra, tese de Doutorado em Engenharia Civil.
- HARDING, R., et al. (2011). "WATCH: current knowledge of the terrestrial global water cycle". *Journal of Hydrometeorology*, 12 (6): 1149-1156.
- MARTINEZ, A. P. F. e VARGAS, H. A. (2016). "Adaptive dynamic model for urban water management". *Tecnologia y Ciencias del Agua*, 7 (4): 139-154.
- MARTYUSHEVA, O. (2014). *Smart water grid*. Fort Collins: Colorado State University.
- MORAIS, D. C., CAVALCANTE, C. A. V. e ALMEIDA, A. T. (2010). "Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água". *Pesquisa Operacional*, 30 (1): 15-32.
- OLAIA, A. I. (2012). *Gestão de sistemas de abastecimento de água através de modelação hidráulica*. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente.
- PORTO, R. M. (2006). *Hidráulica básica*. São Carlos: EESC - USP.
- PINTO, T. M. (2010). *Modelação e calibração de um sistema de abastecimento de água*. Porto: Universidade do Porto, dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.
- SOARES, D. (2010). *Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, dissertação de Mestrado em Engenharia.
- SOUSA, E. R. (2001a). 01. Volumen Constituição de sistemas. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- SOUSA, E. R. (2001b). 02. Volumen Sistemas de adução. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- SOUSA, E. R. (2001c). 03. Volumen Sistemas de distribuição. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- THOMAS, W. G. (2004). "Computing and the historical imagination". In: S. Schreibman, R. Siemens e J. Unsworth (eds.), *A companion to digital humanities*. Oxford: Blackwell Publishing, pp. 56-68.
- TORRES-TOVAR, C. (2019). "Globalización, mercantilización, clústers y gentrificación en la ciudad". *Bitácora Urbano Territorial*, 29 (1): 7-10. Consultado en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/bitacora/article/view/76498>
- TSUTIYA, M. T. (2005). *Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água*. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.