

Gestão operacional de infraestruturas hidráulicas. Aplicação a casos práticos

Operational management of hydraulic infrastructures. Application to practical cases

Jorge Cardoso-Gonçalves¹, José Tentúgal-Valente²

¹ Doutor em Engenharia Civil, FEUP, Associado APRH nº 1802, jjtc.goncalves@gmail.com

² Doutor em Engenharia Civil, Professor Associado, FEUP, Associado APRH nº 567, tentugalvalente@gmail.com

RESUMO: A gestão eficaz e eficiente das infraestruturas hidráulicas que suportam os sistemas de abastecimento de água, os sistemas de drenagem de águas residuais e os sistemas de drenagem de águas pluviais, relaciona-se com os procedimentos existentes nos diversos níveis organizacionais das entidades gestoras. O envolvimento transversal da estrutura e o compromisso dos colaboradores consideram-se elementos cruciais para a implementação de uma estratégia operacional integrada, que procure continuamente soluções economicamente viáveis, ambientalmente sustentáveis e socialmente interessantes. Tendo em conta diversos contributos científicos relacionados com a gestão de infraestruturas e atendendo à importância da sistematização de dados reais, realça-se a pertinência da estruturação de uma metodologia de Gestão Operacional de Infraestruturas Hidráulicas (GOIH) que vise a obtenção de resultados expeditos, que auxiliem a exploração dos sistemas e apoiem a decisão.

Neste artigo aborda-se a metodologia de GOIH desenvolvida no âmbito da tese de doutoramento intitulada “Gestão Operacional de Infraestruturas Hidráulicas” (Autor: Jorge Cardoso-Gonçalves; Orientador: José Tentúgal-Valente), que agrega conceitos de gestão patrimonial de infraestruturas hidráulicas (GPI), de gestão do risco (GR) e de gestão técnica (GT).

Apresentam-se resultados da aplicação prática desta estratégia operacional ao Sistema de Abastecimento de Água de Arouca (SAA-Arouca), onde se operacionalizaram as medidas propostas em Cardoso-Gonçalves (2019), avaliando globalmente os ganhos de eficiência obtidos no período seguinte.

Palavras-Chave: gestão operacional, abastecimento de água, infraestruturas hidráulicas, perdas de água.

ABSTRACT: The effective and efficient management of the hydraulic infrastructures that support the water supply systems, the wastewater drainage systems and the rainwater drainage systems, are related to the procedures existing at the different organizational levels of the managing entities. The transversal involvement of the structure and the commitment of the employees are considered crucial elements for the implementation of an integrated operational strategy, that continuously seeks economically viable, environmentally sustainable and socially interesting solutions. Taking into account several scientific contributions related to the management of infrastructures and given the importance of the systematizing of real data, we realized the relevance of the structuring of a methodology for Operational Management of Hydraulic Infrastructures (GOIH) aimed at obtaining expeditious results, which help the systems exploration and support the decision.

This article deals with the GOIH methodology developed in the doctoral thesis entitled “Operational Management of Hydraulic Infrastructures” (Author: Jorge Cardoso-Gonçalves¹; Advisor: José Tentúgal-Valente²), which aggregates concepts of asset management (GPI), risk management (GR) and technical management (GT).

We present results of the practical application of this operational strategy to Arouca Water Supply System (SAA-Arouca), where the measures proposed in Cardoso Gonçalves (2019) were operationalized, globally evaluating the efficiency gains achieved in the following period.

Keywords: operational management, water supply, hydraulic infrastructure, water loss.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Atualmente, o aumento de urbanização em polos concentrados e a desertificação das áreas rurais, o incremento do nível serviço e de requisito, o término da fase de construção de novos sistemas numa parte significativa dos locais, a exploração de sistemas em envelhecimento, a garantia de níveis de desempenho com eficiência crescente, os cenários de escassez de recursos, a forte disponibilidade de dados e de meios tecnológicos de apoio à gestão, e a necessidade de preservação do *know-how* existente e de capacitação de novos recursos humanos são trechos da realidade que se verifica no contexto atual de gestão das infraestruturas hidráulicas. Por um lado, o referido demonstra o balanço globalmente positivo das últimas décadas (e.g.: cobertura dos sistemas de abastecimento de água; segurança da água; despoluição dos meios recetores; cobertura dos sistemas de drenagem de águas residuais; garantia da qualidade em origens e meios recetores; adequada gestão de águas urbanas), por outro, evidencia a necessidade de refletir sobre as fragilidades e as oportunidades atuais (Cardoso-Gonçalves, 2019).

O objetivo central deste artigo prende-se com a apresentação da metodologia de GOIH desenvolvida em Cardoso-Gonçalves (2019) e a síntese dos resultados da sua aplicação a um caso de estudo, dando cumprimento aos seguintes objetivos específicos: enquadramento da temática da GOIH; apresentação da metodologia proposta; abordagem ao caso de estudo SAA-Arouca e à estratégia operacional implementada; sistematização de resultados práticos da implementação da metodologia; análise da evolução global do sistema; discussão e proposta de evoluções futuras.

Este artigo organiza-se em: considerações iniciais; gestão operacional de infraestruturas hidráulicas (abordagem geral e metodologia proposta); aplicação a um caso de estudo (SAA-Arouca; estratégia operacional; resultados práticos; evolução global); considerações finais (conclusões; evoluções futuras); referências bibliográficas.

2. GESTÃO OPERACIONAL DE INFRAESTRUTURAS HIDRÁULICAS

2.1. Abordagem Geral

A gestão do recurso água deverá ser resiliente na resposta aos desafios que surgem na exploração dos sistemas de abastecimento de água, dos sistemas de drenagem de águas residuais e dos

sistemas de drenagem de águas pluviais. A GOIH, por intermédio da gestão otimizada destes sistemas que garantem a prestação de um serviço essencial, deverá responder às necessidades da sociedade através de soluções economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis, considerando os seguintes desígnios (Cardoso-Gonçalves e Tentúgal-Valente, 2018c): preservação das origens; disponibilidade em cenários de escassez; segurança no abastecimento; salvaguarda de meios recetores; resposta a fenómenos extremos; adaptação a novos contextos.

A metodologia de GOIH proposta desenvolve-se na sequência de uma revisão bibliográfica diversificada e assenta em três pilares fundamentais: gestão patrimonial de infraestruturas (GPI), gestão do risco (GR) e gestão técnica (GT). Nos parágrafos seguintes, referem-se brevemente alguns dos aspetos do estado arte efetuado na referida investigação.

Alegre *et al.* (2012) refere que os serviços públicos de água representam um exemplo paradigmático, realçando que representam serviços públicos essenciais, embora, vulgarmente, a sociedade os considere como óbvios e pouco valorizados. As infraestruturas que os suportam são de visibilidade reduzida e apresentam elevado custo de construção e durabilidade. A GPI estrutura práticas de gestão tradicionais, que integra em princípios de gestão por objetivos e de melhoria contínua, privilegiando novas técnicas de análise, de comparação e de comunicação.

A GPI pode definir-se como a arte de equilibrar o desempenho, o custo e o risco, baseando-se em competências de gestão, engenharia e informação, planeadas ao nível estratégico, tático e operacional. Refere-se que a definição de prioridades e a seleção de necessidades de intervenção carecem do conhecimento dos ativos (infraestruturas) e que o diagnóstico da situação existente permite que se avalie a vida residual e o valor económico das infraestruturas (Alegre, 2008).

Num processo de decisão, o risco aborda-se como a impossibilidade de antecipar a estrutura, os resultados e as consequências, incluindo a incerteza e os resultados da mesma (Herz e Thomas, 1983). A inclusão do risco no processo de decisão necessita que se considerem dois fatores, nomeadamente a probabilidade de ocorrência de cenários e as consequências prováveis dos cenários. A decisão que tenha em conta e insira estes fatores no processo de decisão refere-se como decisão informada pelo risco (Almeida, 2011).

Em relação a aplicações técnicas da análise quantitativa do risco, indica-se como consolidada a definição técnica geral do risco, que parte da

hipotética ocorrência (no futuro e em determinado sistema) de um acontecimento, com consequências negativas ou positivas. O risco determina-se pelo produto entre probabilidades e consequências (Almeida, 2011). Sugere-se que se utilize a definição técnica geral de risco por ser uma metodologia de cálculo expedita, que se pode sustentar em dados reais e que possibilita a utilização do risco do ponto de vista operacional, de forma adaptativa e versátil, informando a tomada de decisão

Organizacionalmente, Almeida (2017) refere que a maioria das EG não apresenta documentos organizacionais (e.g.: planos de segurança da água – PSA; planos de redução de perdas; planos de gestão de contadores) e salienta que os peritos identificam estes documentos como um dos principais detalhes das “causas organizativas”, referidas como a segunda principal causa para as perdas de água, logo após as “causas infraestruturais”. Propõe-se que a metodologia de GOIH integre a gestão técnica como um dos seus principais pilares, incluindo nesta, questões operacionais (e.g.: controlo operacional; perdas de água; aflúências indevidas; operação de infraestruturas; modelação; sistemas de informação geográfica) e questões organizacionais (gestão da mudança).

A metodologia de GOIH proposta desenvolve-se como um elemento agregador dos conceitos de GPI, de GR e de GT, propondo um novo modelo de organização que se apresenta com maior detalhe em 2.2.

2.2. Metodologia Proposta

A metodologia proposta em Cardoso-Gonçalves (2019) integra um conjunto de etapas principais, que se entendem importantes para a otimização operacional das infraestruturas hidráulicas. Ainda assim, salienta-se a necessidade de considerar

a flexibilidade e a adaptabilidade das etapas propostas, permitindo a aplicação da metodologia de GOIH a sistemas em diferentes níveis de atuação (alta e baixa), de complexidade, de desenvolvimento, de informação e de acordo com estruturas organizacionais distintas.

Na Figura 1 apresentam-se as principais etapas da estratégia operacional, nomeadamente o tratamento de dados (etapa prévia que inclui o processamento de dados e a estatística), a GOIH (especificada na figura 2) e o apoio à decisão.

Após o prévio tratamento dos dados disponíveis, a metodologia de GOIH (Figura 2), que deverá atender a um equilíbrio *macro* (ambiente, sociedade, economia, ciência, inovação e política), inicia-se pelo estabelecimento do contexto (desafios e organização) e divide-se em três áreas operacionais (subdivididas em unidades operacionais), designadamente: avaliação (estado, desempenho, custo e risco); exploração (controlo operacional, resposta a ocorrências, dados reais e gestão informada pelo risco); intervenção (monitorização, manutenção, reabilitação e reforço). De forma mais específica, a metodologia versa sobre diversos problemas operacionais (e.g., resposta a ocorrências; perdas de água; aflúências pluviais às redes de drenagem de águas residuais; inundações – soluções de controlo na origem).

A operacionalização da metodologia proposta inclui as seguintes três etapas, aplicáveis durante todo o processo: monitorização da metodologia; revisão da metodologia; melhoria contínua.

Tendo como ponto de partida os dados reais de exploração e a informação cadastral disponível, aplica-se a metodologia de GOIH (Figura 2) a casos práticos (e.g., sistemas de abastecimento de água, sistemas drenagem de águas residuais), propondo otimizações operacionais que visem o incremento

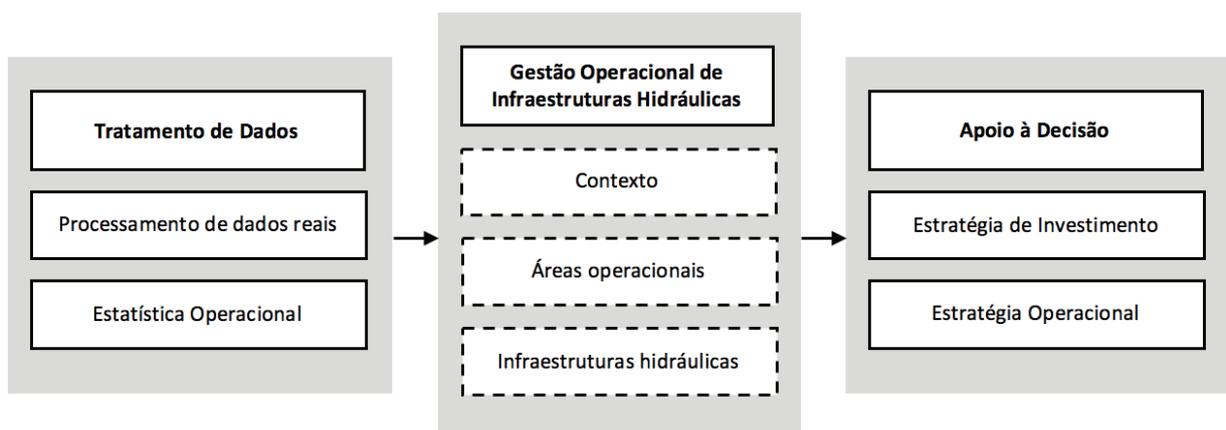


Figura 1. Representação esquemática das etapas da estratégia operacional (Cardoso-Gonçalves, 2019).

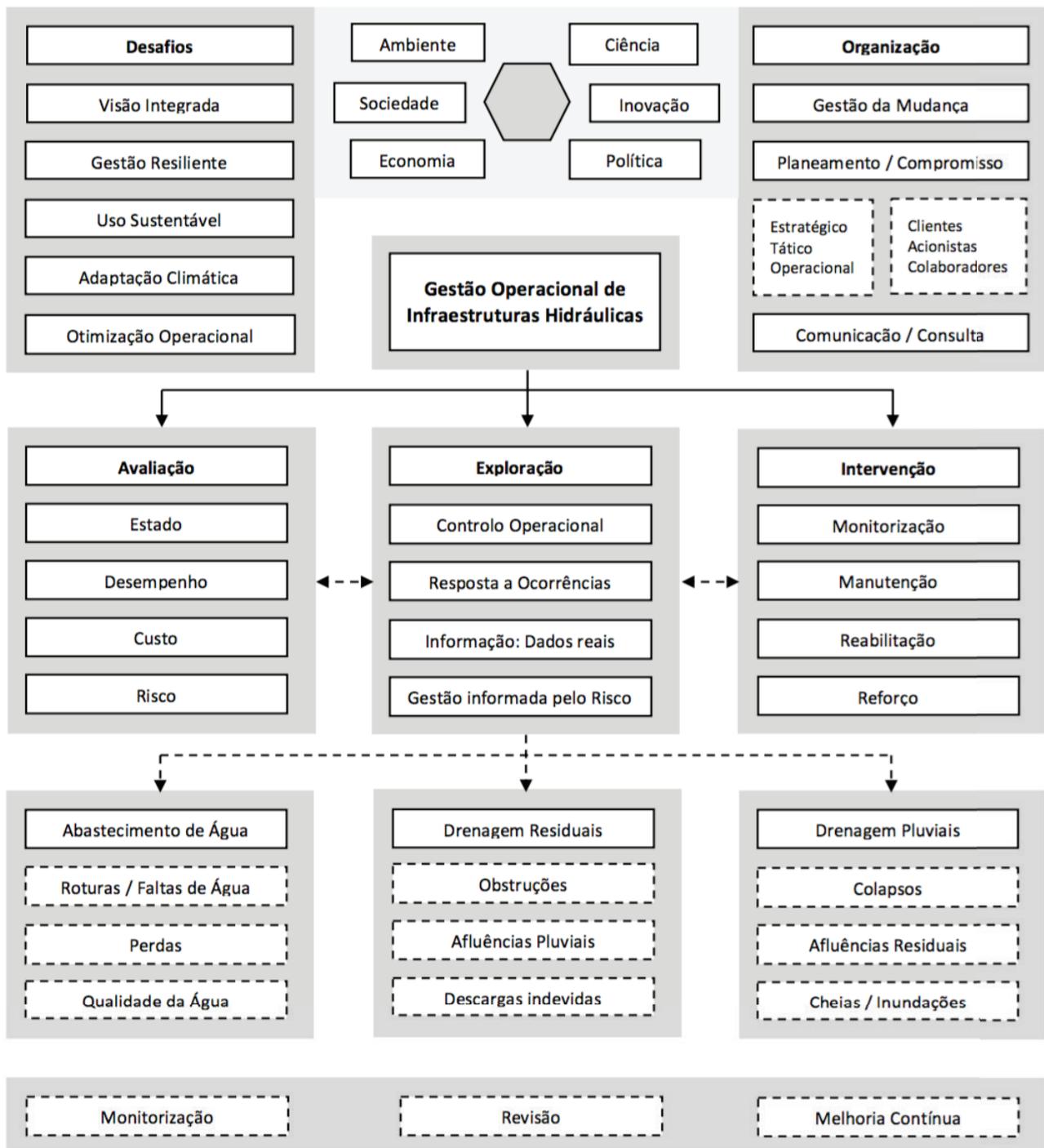


Figura 2. Representação Esquemática da Metodologia de GOIH (Cardoso-Gonçalves, 2019).

da qualidade do serviço, a diminuição dos encargos de exploração e a salvaguarda do ambiente. A abordagem proposta relaciona-se com a definição de uma estratégia operacional que inclui a discussão dos critérios de conceção dos sistemas e a proposta, a operacionalização e o teste de ações operacionais (avaliação, exploração, intervenção). Os resultados que se apresentam podem enquadrar-se em duas fases distintas da aplicação da metodologia, designadamente: ações propostas em resultado da análise do sistema com base na metodologia

(*e.g.*, ações de combate às perdas de água; ações de controlo de afluências indevidas); resultados obtidos após a implementação das ações propostas pela metodologia (*e.g.*, evolução de água não faturada; evolução de volumes entregues em alta). A gestão dos serviços de águas não obedece a um grupo de procedimentos preconcebidos, realçando-se o dinamismo constante e a importância do contexto. A GOIH dever-se-á adaptar à realidade das infraestruturas e dos intervenientes (*e.g.*: entidades gestoras, entidades

reguladoras, clientes). A metodologia proposta procura organizar procedimentos operacionais, tendo em vista o aumento da eficácia na resposta e a procura de eficiência na mobilização de recursos, sintetizando os resultados de ações efetuadas e sistematizando as ações a propor. O recurso água necessita de ser gerido de forma resiliente e devem procurar-se soluções robustas para responder aos desafios que surgem na exploração dos sistemas de abastecimento de água, dos sistemas de drenagem de águas residuais e dos sistemas de drenagem de águas pluviais.

3. APLICAÇÃO A UM CASO DE ESTUDO

3.1. Sistema de Abastecimento de Água de Arouca

O SAA-Arouca (figura 3) abastece o concelho de Arouca (distrito de Aveiro), com uma área aproximada de 327 km² e uma população de cerca de 24 000 habitantes. A área abastecida trata-se de uma zona rural, localizada no interior de Portugal, com uma orografia caracterizada por fortes variações em altitude. Este sistema divide-se no Sistema Principal (SP), abastecido “em alta” através 6 Pontos de Entrega (PE) pela Águas do Douro e Paiva, S.A., e nos Sistemas Autónomos (SA), abastecidos por captações descentralizadas (furos e minas). As informações da entidade gestora (EG) referentes ao ano de 2017 referem que este sistema se subdivide

em 25 subsistemas, que integram 6 PE “em alta” (Abelheira; Provisende; Souto Redondo; Ameixieira; Forcada; Moldes), 27 captações de água, 20 estações elevatórias, 17 sistemas de tratamento, 43 reservatórios e cerca de 200 VRRP, e apresentam uma extensão total (adutoras e distribuidoras) superior a 400 km. A EG é a Águas do Norte, S.A.

3.2. Estratégia Operacional

A estratégia de GOIH proposta foca-se particularmente na organização, mobilizando os recursos existentes e otimizando os procedimentos em curso, propondo outros que visem o incremento da eficácia da resposta e da eficiência de exploração. A metodologia de GOIH implementada no SAA-Arouca desenhou-se, desenvolveu-se e aplicou-se de forma integrada com a exploração deste sistema de abastecimento de água, realçando-se a flexibilidade da metodologia e a contribuição colaborativa e de aprendizagem mútua entre academia e empresa. Este caso de estudo surge em diferentes fases da investigação, designadamente no estabelecimento do contexto, no enquadramento organizacional, na avaliação das infraestruturas, na discussão e na otimização dos procedimentos operacionais, bem como na sistematização das diversas intervenções executadas e a executar. Produziram-se diversos elementos que foram integrados no âmbito da gestão operacional deste sistema.

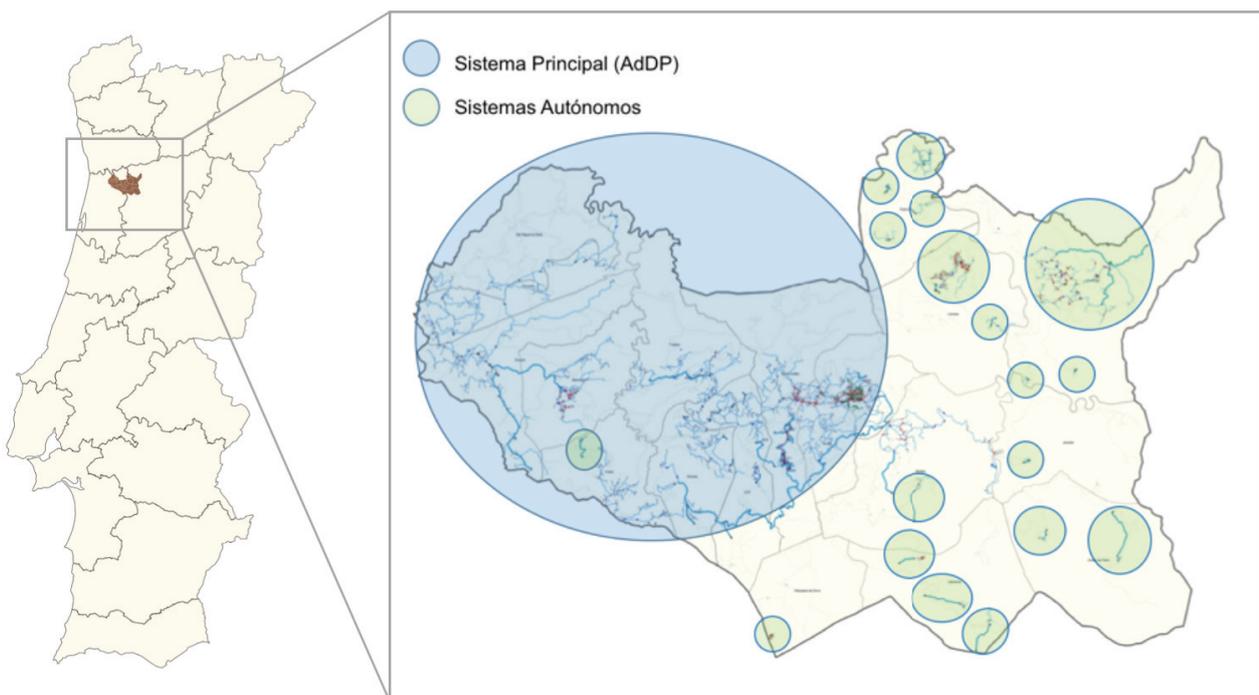


Figura 3. Representação do SAA-Arouca (adaptado de Cardoso-Gonçalves e Tentúgal-Valente, 2018a).

De acordo com a estrutura apresentada na Figura 2, aplicam-se as três áreas operacionais (avaliação, exploração e intervenção) ao SAA-Arouca, obtendo-se resultados que orientaram as ações operacionais levadas a cabo neste sistema, e cujos resultados práticos se apresentam no ponto seguinte.

Em relação à avaliação das infraestruturas do SAA-Arouca em termos de condição, desempenho, custo e risco, refere-se que esta incluiu captações, condutas adutoras, reservatórios, sistemas de tratamento, condutas distribuidoras, válvulas redutoras de pressão (VRP) e estações elevatórias. A avaliação efetuada possibilitou que se identificassem as principais fragilidades e pontos fortes do sistema, informação que contribuiu para que melhor se orientassem as ações operacionais, designadamente através da gestão do risco associado a diferentes infraestruturas. A avaliação de custos efetuada (através de inquéritos à EG e da informação que consta em Covas *et al.*, 2018), apontou para um custo de substituição de cerca de 19,8 M€, com um valor atual na ordem dos 12,2 M€, e com um IVI de cerca de 0,62, que poderá indicar que as infraestruturas que encontram consolidadas, investindo-se, em média, o equivalente à depreciação.

No que se refere a ações propostas para a área operacional de avaliação, salienta-se a atualização da avaliação infraestrutural efetuada (estado; desempenho; custo; risco) num momento posterior, após os resultados das ações de otimização operacional e das intervenções (manutenção; monitorização; reabilitação; reforço) efetuadas no SAA-Arouca. Propõe-se, também, o levantamento e a avaliação de outras infraestruturas (*e.g.*, válvulas de seccionamento; ventosas; descargas de fundo; hidrantes; ramais domiciliários; ramais de incêndio) e de equipamentos eletromecânicos, a avaliação mais detalhada das captações, a elaboração de planos de GPI e a elaboração de previsões de custos reabilitação.

Na área operacional de exploração, cuja abordagem foi significativamente articulada com a equipa de exploração do SAA-Arouca, de acordo com a metodologia de GOIH proposta, foram propostas diversas ações para cada uma das unidades operacionais (controlo operacional; resposta a ocorrências; informação – dados reais; gestão informada pelo risco), bem como especificamente no caso do combate às perdas de água. Salienta-se que grande parte das ações desenhadas em consonância com o diagnóstico efetuado até ao final do ano de 2017 estão executadas ou encontram-se em execução.

Na unidade de controlo operacional, salienta-se a proposta e a implementação de equipas funcionais (prevenção; monitorização do SAA – qualidade da água; roturas e desobstruções; VRP; Perdas e Infiltrações), que possibilitou a otimização dos recursos humanos, a introdução de um planeamento estruturado de equipas, a monitorização sistemática de Consumos Mínimos Noturnos (CMN) e a gestão de materiais e equipamentos de apoio à exploração. A maior agilidade na resposta a ocorrências promoveu alterações organizacionais, tanto nos meios internos como na mobilização de prestadores externos, que reforçou de forma significativa a eficácia operacional, traduzindo-se numa diminuição dos tempos de resposta.

A utilização de dados reais na GOIH, no contexto atual (desenvolvimento tecnológico e forte disponibilidade de dados reais gerados automaticamente), considerou-se prioritária como elemento de apoio à exploração das infraestruturas e à tomada de decisão. Efetuou-se um tratamento sistemático de dados reais, que se utilizaram na interpretação e na proposta de melhorias operacionais, sugerindo-se que se registem históricos de dados cada vez mais robustos, com particular foco na obtenção de informação útil.

No âmbito da aplicação desta metodologia de GOIH, a gestão informada pelo risco surge como uma estratégia de apoio à exploração que procura aproximar a tomada de decisão da objetividade e das ações preventivas, distanciando-a da subjetividade e das ações reativas. As estratégias operacionais concebidas e implementadas e os investimentos (intervenções de monitorização, manutenção, reabilitação e reforço) propostos e efetuados no decorrer dos anos 2017 e 2018, no SAA-Arouca, tiveram em conta a análise de risco efetuada, de acordo com a perspetiva de “gestão informada pelo risco”. O risco associado aos subsistemas de Abelheira, de Souto Redondo e, em particular, de Moldes, nas componentes de risco de rotura, risco de falta de água e risco de perdas de água, determinou o planeamento de ações, os investimentos efetuados e o posicionamento das equipas.

O combate às perdas de água desenhado para o SAA-Arouca constituiu uma das peças fulcrais da investigação, que pretendeu, mais do que ser uma estratégia de combate às perdas de água, representar uma forma de ver a GOIH, defendendo que a otimização dos procedimentos operacionais, a organização das equipas e dos meios, e uma boa gestão das infraestruturas hidráulicas constitui um caminho global que possibilita que se incremente a eficiência hídrica (perdas de água), energética,

económica (redução de perdas económicas associadas a ineficiências) e operacional (capacidade de resposta), tornando os sistemas mais robustos e mais resilientes.

Na EG que opera o SAA-Arouca, as perdas aparentes encontram-se, organizacionalmente, numa área distinta da exploração, com a qual se desenvolveu o presente trabalho. Ainda assim, realça-se a importância do combate a esta componente das perdas de água, nomeadamente através da redução de perdas por erros de medição (aferição e substituição de contadores), da redução de perdas por consumos não faturados (instalação de contadores) e da redução de perdas por consumos não autorizados (ações de inspeção).

Relativamente às perdas reais de água no SAA-Arouca, a estratégia estruturada, desenhada e implementada no âmbito da aplicação da metodologia de GOIH desenvolvida e tendo em conta a bibliografia de base, assentou nas seguintes componentes principais:

- Eliminação do extravasamento em reservatórios de distribuição;
- Gestão de pressões na rede de distribuição;
- Diminuição do tempo de resposta na reparação de roturas;
- Controlo ativo de perdas (constituição de equipa funcional de perdas);
- Substituição de condutas.

A estrutura metodológica de GOIH possibilitou, numa perspetiva de apoio à decisão, priorizar, planear e estruturar as medidas anteriores, de acordo com o retorno operacional das diferentes ações suprarreferidas, tanto na sua distribuição espacial como temporal.

A área operacional de intervenção em infraestruturas hidráulicas inclui quatro unidades operacionais, designadamente a monitorização, a manutenção, a reabilitação e o reforço. No decorrer da investigação foram propostas um conjunto de intervenções, tendo sido parte delas já executadas. No que respeita à monitorização encontram-se em curso, no SAA-Arouca, um conjunto de rotinas (monitorização de reservatórios; monitorização de VRP; monitorização de fontanários e origens não controladas; monitorização e registo sistemático de ocorrências). Em termos de manutenção, salienta-se que se efetuaram algumas intervenções em reservatórios e importantes ações de manutenção ao parque de VRP.

As intervenções efetuadas nas VRP do SAA-Arouca apresentam particular relevância, pelo efeito que a gestão de pressões poderá ter na otimização dos sistemas de abastecimento de água, particularmente

nos sistemas que se encontram instalados em locais com a orografia do concelho de Arouca (acentuadas variações em altitude). Em consonância com a estratégia desenhada no trabalho de investigação efetuado, até ao final do ano de 2018, instalaram-se 61 novas VRP, substituíram-se 26, efetuou-se manutenção a 92 VRP e reduziu-se a pressão em 101 VRP. A redução média de pressão a jusante de VRP, da 1ª fase de gestão de pressões, foi de cerca de 30%. Em 2019, dando continuidade à metodologia de GOIH desenvolvida, instalaram-se mais 26 VRP, substituíram-se mais 25 VRP, efetuou-se manutenção a cerca de 20 VRP e diminuiu-se a pressão em 87 VRP (redução média de 10 mca por VRP). A 2ª fase de gestão de pressões, que ficou concluída no final do ano de 2019, possibilitou uma redução média de pressão a jusante de VRP de, aproximadamente, 20%. Sintetizam-se todos os trabalhos em VRP no SAA-Arouca:

- Instalação de 87 novas VRP;
- Substituição de 51 VRP;
- Manutenção de 112 VRP;
- Redução de Pressão em 188 VRP;
- Redução média de pressão: 50%.

As intervenções de reabilitação e reforço de condutas e VRP, desde 2016 até ao final do ano de 2018, representaram um investimento global de cerca de 850 000€, correspondente ao reforço de cerca de 10 km de condutas, à reabilitação de 12 km de condutas, à instalação de 61 VRP e à substituição de 26 VRP. O investimento operacional (ações de monitorização e manutenção de infraestruturas; custos com recursos humanos, com viaturas e com materiais), desde 2016 até ao final de 2018, correspondeu a cerca de 400 000 €.

No decorrer do ano de 2019, de acordo com a estratégia preconizada, manteve-se o investimento operacional e, em termos infraestruturais, reabilitaram-se aproximadamente 5 km de condutas, reforçaram-se cerca de 2,7 km de condutas, instalaram-se 26 VRP e substituíram-se 25 VRP, efetuando-se um investimento global de cerca de 0,55 M€, correspondente às seguintes componentes:

- Investimento operacional: cerca de 200 000 €;
- Investimento em reabilitação e reforço de condutas: 249 759 €;
- Investimento em reabilitação e reforço de VRP: 103 300 €.

Na Tabela 1 sintetizam-se os investimentos infraestruturais efetuados no SAA-Arouca, no período 2016-2019.

Tabela 1. Síntese de custos de intervenções efetuadas no SAA-Arouca (quadriénio 2016-2019).

Ano	Reabilitação		Reforço		Total
	Condutas	VRP	Condutas	VRP	
2016	83 235 €	-	-	-	83 235 €
2017	202 425 €	21 000 €	172 764 €	81 000 €	477 189 €
2018	101 663 €	25 250 €	109 597 €	57 500 €	294 010 €
2019	180 453 €	*44 300 €	69 306 €	*59 000 €	353 059 €
total	567 776 €	90 550 €	351 667 €	197 500 €	1 207 493 €

*valores estimados com base nos dados reais de instalação até 2018

3.3. Resultados Práticos

Tendo sido dada continuidade à aplicação da metodologia de GOIH, apresentam-se, neste artigo, os resultados completos até ao final do ano de 2019, bem como uma previsão dos próximos anos, de acordo com o estado atual de desempenho das infraestruturas do SAA-Arouca, particularmente em relação às perdas de água e às ocorrências. A análise efetuada neste artigo centra-se no SP do SAA-Arouca.

Para a avaliação das perdas de água, opta-se pela análise da evolução da Água Entrada no Sistema (AES), nos 6 PE do SP do SAA-Arouca. Em 2019, relativamente a 2015, a água fornecida “em alta” reduziu-se para cerca de metade (redução de 45%), representado uma redução global, no quadriénio 2016-2019, de cerca de 1,6 milhões de m³ (110 995 m³ em 2016; 212 172 m³ em 2017; 553 086 m³ em 2018; 746 596 m³ em 2019). A redução de água adquirida pela Águas do Norte, S.A. traduz-se numa diminuição de custos de, aproximadamente, 845 000 € (0,5207 €/m³). A Figura 4 representa graficamente a evolução anual de AES no SP do SAA-Arouca.

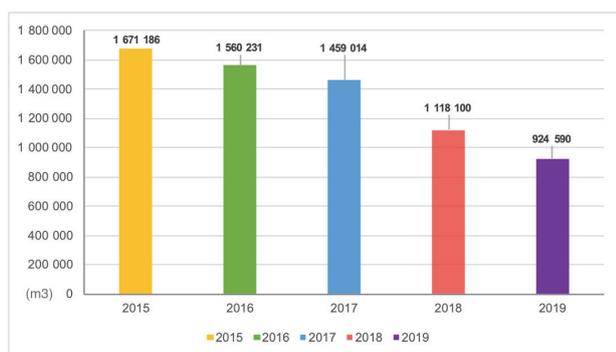


Figura 4. Evolução Anual de AES no SP do SAA-Arouca (quinquénio 2015-2019)

Cardoso-Gonçalves e Tentúgal-Valente (2018a) indicam que, desde 2015, se desativaram 5 origens autónomas do SAA-Arouca, sendo as respetivas zonas de abastecimento de água integradas no SP, privilegiando a garantia de continuidade do serviço e de qualidade de água distribuída. Por isso, salienta-se que a redução de AES que se verificou incorpore, mesmo assim, o aumento da área abastecida e do número de clientes do SP.

A Figura 5 representa graficamente a evolução do volume mensal global de AES nos 6 PE do SP do SAA-Arouca. Verifica-se que, sensivelmente a meio do ano de 2017, ocorreu uma redução da AES, tendo-se acentuado essa tendência a partir dessa altura.

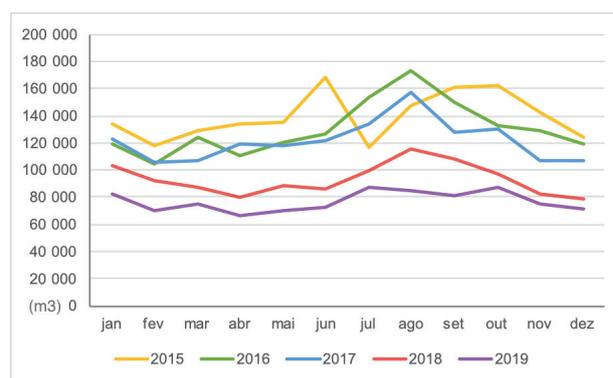


Figura 5. Evolução Mensal da Água Entrada no Sistema Principal do SAA-Arouca (quinquénio 2015-2019)

No que se refere ao combate às perdas de água, a Figura 6 representa a evolução do volume mensal global (nos 6 PE do SP do SAA-Arouca) de AES, encontrando-se assinaladas as principais ações propostas e implementadas no SAA-Arouca.

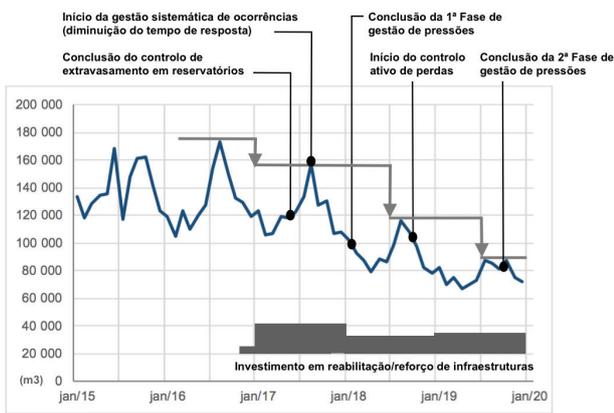


Figura 6. Evolução Mensal Água Entrada no Sistema Principal do SAA-Arouca (quinquênio 2015-2019)

A estratégia de GOIH aplicada ao SAA-Arouca incorporou as medidas de combate às perdas de água (controlo de extravasamento; gestão sistemática de ocorrências; gestão de pressões; reabilitação e reforço de infraestruturas; controlo ativo de perdas), orientando-se a sua operacionalização (espacial e temporal) pela avaliação das infraestruturas e pela análise de dados reais efetuadas.

Outra das componentes do desempenho do SAA-Arouca que se avalia no presente artigo, na sequência da metodologia de GOIH testada neste sistema, refere-se à evolução do número de roturas ocorridas no SP do SAA-Arouca (Figura 7). Ao longo dos últimos 4 anos, relativamente ao ano de 2016, ocorreram menos 1 052 roturas no SP do SAA-Arouca, uma redução de cerca de 40%, com uma diminuição de custos de, aproximadamente, 420 800 € (400 €/rotura).

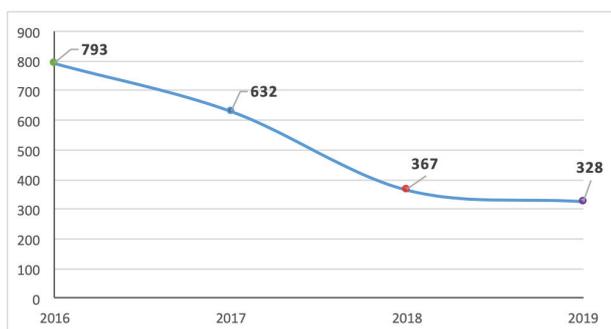


Figura 7. Evolução da ocorrência de roturas no Sistema Principal do SAA-Arouca (quadriênio 2016-2019)

A EG do SAA-Arouca investiu, até ao final do ano de 2019, cerca de 1 821 093 € (1 207 493 € de investimento infraestrutural e 613 600 € de investimento operacional) e os ganhos obtidos (redução de perdas de água e de roturas), no mesmo período, estimam-se em 1 265 797 €. Com base nestes valores, refere-se que os investimentos

associados à estratégia de gestão operacional adotada apresentam um período de retorno inferior a 2 anos.

3.4. Evolução Global

Numa abordagem global, nos parágrafos seguintes, analisa-se a evolução do SAA-Arouca com a aplicação da estratégia operacional, considerando os ganhos para a EG “em baixa” (Águas do Norte, S.A.), para o fornecimento “em alta” (energia elétrica) e na componente ambiental. A eficiência hídrica pode analisar-se de acordo com uma perspetiva de “nexus água-energia” e de “nexus água-ambiente”.

No que diz respeito aos consumos energéticos, Miranda *et al.* (2018) refere que a água fornecida “em alta” ao SAA-Arouca incorpora um custo energético de 4 kWh/m³, correspondente a 0,44 €/m³. No que se refere às emissões de CO₂, face à energia consumida, a conversão proposta, no mesmo trabalho, é de cerca 188 gCO₂/kWh.

Tendo como ano de referência 2015, a Tabela 2 sistematiza os ganhos de eficiência (redução de perdas de água; redução de consumo de energia elétrica; redução de roturas; redução de emissões de CO₂) associados ao SP do SAA-Arouca, até ao final do ano de 2019.

Tabela 2. Síntese de ganhos de eficiência no SAA-Arouca (quadriênio 2016-2019).

Redução de perdas de água (0,5207 €/m ³)	1 622 809 m ³ (844 997 €)
Redução de consumo de energia elétrica (4 kWh/m ³ ; 0,44€/m ³)	6 491 236 kWh (714 036 €)
Redução de roturas (400 €/rotura)	1052 un (420 800 €)
Redução de emissões de CO ₂ (188 gCO ₂ /m ³)	305 ton de CO ₂

A análise da redução global de custos no abastecimento de água ao Município de Arouca deverá incorporar, também, a redução dos custos energéticos associados, que, no caso deste sistema, apresentam valores consideravelmente elevados. Tendo em conta os valores propostos anteriormente, estima-se que, face a 2015, se tenha reduzido cerca de 0,71 M€ em custos energéticos, correspondentes a mais de 6 milhões de kWh. Globalmente, a otimização operacional que se implementou neste sistema traduziu-se numa redução de custos, entre 2016 e 2019, de cerca de 2 M€.

Na componente ambiental, salienta-se que o incremento de eficiência no SAA-Arouca,

particularmente na redução de perdas de água, apresenta um contributo que se poderá estimar, através da redução de consumos energéticos, numa redução de cerca de 305 ton de emissões de CO₂, comparativamente com o ano de 2015.

Considerando os consumos médios diários que se verificam em fevereiro de 2020, estima-se uma redução do consumo médio diário associado aos 6 PE da Águas do Douro e Paiva, S.A. de, aproximadamente, de 440 m³. Embora seja expectável que esta redução se acentue, pela continuidade da estratégia de combate às perdas de água, caso se mantenha nestes valores pode alcançar-se, no final do ano de 2020, uma redução de AES, face a 2019, entre 14% e 17%, consoante o perfil de consumos que se possa verificar. Neste cenário, no final do ano de 2020, é expectável que a AES se encontre, aproximadamente, entre os 765 000 m³ e os 795 000 m³, o que, a manter-se o nível de AF, corresponderá a um nível de perdas reais próximo de 30%.

Realça-se que a transformação referida nos parágrafos anteriores se verificou em apenas três anos (2017, 2018 e 2019), através de um modelo que assentou, sobretudo, na organização dos meios disponíveis, direcionando os recursos para as atividades que se identificaram como prioritárias para o incremento de eficiência do sistema. Parte-se de um patamar de perdas reais próximo de 80% em 2015 e, em fevereiro de 2020, alcança-se um patamar de perdas reais de cerca de 30%. Tendo em conta os ganhos energéticos associados ao fornecimento “em alta” ao SAA-Arouca (0,71 M€), o tempo de retorno do investimento global (“em alta” e “em baixa”) poderá ser de cerca de 1 ano.

Com os valores referentes a fevereiro de 2020, considerando que se mantém este patamar, perspectiva-se que, face a 2015, a redução anual de custos seja de cerca de 1 M€ (0,46 M€ em perdas de água; 0,19 M€ em roturas; 0,39 M€ em energia). De acordo com o exposto, perspectiva-se que nos próximos de 30 anos, face a 2015, a redução global de custos sistematizada anteriormente seja superior a 30 M€, situação que contribuirá para a sustentabilidade económico-financeira do SAA-Arouca.

No âmbito da gestão dos restantes três sistemas de abastecimento de água “em baixa” geridos pela Parceria da Águas do Norte, S.A. (Amarante, Baião e Cinfães), após se começarem a demonstrar os resultados obtidos no SAA-Arouca (Cardoso-Gonçalves e Tentúgal-Valente, 2017, 2018a, 2018b), adotaram-se, nestes municípios, no decorrer do ano de 2018, medidas de combate às perdas de água semelhantes às propostas em Cardoso-Gonçalves

(2019), que já tinham sido implementadas no SAA-Arouca em 2017. Globalmente, a Parceria da Águas do Norte, S.A. adquiriu “em alta”, no ano de 2019, menos cerca de 24% de água (1 394 665 m³), face a 2017.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1. Conclusões

A exploração otimizada e sustentável dos sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais assume um papel preponderante na qualidade de vida das pessoas e na salvaguarda dos seus bens. A crescente urbanização e as solicitações com um grau de exigência cada vez mais elevado alavancam a otimização das respostas dos sistemas de abastecimento de água, considerando temáticas como a análise de consumos, a garantia de qualidade da água, a gestão de perdas, a adequabilidade de tarifas e a continuidade do serviço. A gestão das infraestruturas hidráulicas que alicerçam os sistemas de abastecimento de água deve pautar-se pela eficácia e eficiência, suportando-se num conhecimento aprofundado dos sistemas e das suas solicitações.

A abordagem à GOIH deverá efetuar-se segundo metodologias flexíveis, adaptativas, de aplicação cíclica e com o foco na melhoria contínua. Acredita-se que a utilização de ferramentas expeditas, em detrimento de modelos mais complexos, e o teste em lugar dos modelos previsionais sofisticados, poderão conduzir a resultados interessantes, envolvendo toda a estrutura das EG, sobretudo em estrita colaboração com as equipas de exploração. A metodologia de GOIH preconizada deverá ser suficientemente versátil para ser aplicada a sistemas “em alta” e a sistemas “em baixa”, de diferentes dimensões e em distintos estádios de elaboração. A estruturação da metodologia referenciada procurou que a ausência de dados, a limitação temporal das investigações e a aplicação específica a casos de estudo não limitasse a abrangência da metodologia, que inclui diversas componentes que não se aplicam.

A fase de tratamento de dados constitui a componente prévia da metodologia de GOIH e assume particular pertinência no contexto atual, em que se verifica uma geração rápida e, muitas vezes, automática ou sistemática, de dados de vária ordem (e.g.: registos de exploração; levantamentos de infraestruturas; relatórios de empreitadas), que necessitam de ser processados e tratados estatisticamente de forma a serem transformados em informação útil.

Abordando, em especial, o caso de estudo do SAA-Arouca, podem tecer-se algumas considerações de carácter mais genérico. As infraestruturas deste sistema apresentam um estado, em média, razoável, um desempenho eficaz e um nível de risco intermédio. Na área operacional de exploração, nesse estudo abordam-se os procedimentos anteriores, propõe-se outros, elaboram-se ferramentas de apoio à exploração, e estabelece-se uma estratégia operacional que considere o combate às perdas de água como uma prioridade. Neste âmbito, destaca-se o desenho e operacionalização de equipas funcionais (equipa de resposta a ocorrências; equipa de VRP; equipa de perdas), com a gestão de pressões efetuada na rede de distribuição e com as restantes ações de combate às perdas concretizadas. Em relação à intervenção em infraestruturas hidráulicas, realça-se a organização de intervenções executadas desde o ano de 2016 (parte delas equacionadas no âmbito desta investigação) e de outras a executar no futuro (planeadas anteriormente pela EG e preconizadas no campo da metodologia de GOIH). Refere-se que, após a implementação da metodologia em estudo, se passou de um nível de perdas reais próximo de 80% para cerca de 30% em apenas 3 anos, reduzindo-se a água fornecida “em alta” para cerca de metade, com investimentos com retorno inferior a 2 anos.

Os sistemas de pequena dimensão são sistemas com poucos clientes que, naturalmente, são propícios a níveis de perdas mais elevados. Embora nos últimos anos tenha sido feito um esforço para a gestão conjunta de sistemas de pequena dimensão, através de diferentes metodologias de agregação, que melhorou o panorama geral e demonstrou resultados positivos, atualmente ainda existem múltiplos sistemas de pequena dimensão, com elevados níveis de ineficiência. Particularmente nestes casos, uma metodologia de GOIH estruturada possibilitará que se introduzam práticas simples, de baixo investimento e com o envolvimento de meios internos que já operam nesses sistemas, que poderão conduzir a ganhos consideráveis, com um período de retorno relativamente baixo.

4.2. Evoluções Futuras

A modelação dos sistemas de abastecimento de água, de drenagem de águas residuais e de drenagem de águas pluviais, a monitorização permanente de diferentes parâmetros (e.g.: qualidade da água, caudais, volumes, pressões, ocorrências), bem como o teste e implementação de modelos de *forecasting*, referem-se como possibilidades a ponderar, de acordo com o estágio

de desenvolvimento e a disponibilidade financeira das EG. O contexto de elevados níveis de ineficiências, em determinadas entidades gestoras, poderá ditar que se adotem metodologias mais expeditas, com resultados rápidos e com menor mobilização de meios internos (e.g., RH) e de recursos financeiros. Os ganhos obtidos, geralmente rápidos, poderão financiar as soluções mais sofisticadas, que podem ser introduzidas de forma faseada e em períodos de teste.

Em sistemas com elevados níveis de perdas de água e com patamares de pressão consideravelmente elevados, onde a implementação de outras soluções se possa verificar difícil, por limitações de diferentes tipos (e.g.: económico-financeiras; disponibilidade de meios; tempo), poderá ser equacionada a redução de pressões em período noturno, através da instalação de VRP com modelação que permita patamares diferentes, em período noturno e diurno. Contudo, este tipo de soluções deverá ser estudado criteriosamente, considerando a necessidade de abastecimento a pontos críticos (e.g., hospitais; marcos de incêndio). As soluções com modelação com *loggers* de pressão que salvaguardem o abastecimento a esses pontos críticos poderão ser uma alternativa. Em sistemas com níveis de perdas particularmente reduzidos, este tipo de soluções, sobretudo de carácter transitório, pode não se adequar. Com este exemplo pretende-se evidenciar a necessidade da flexibilidade de ações face ao contexto e circunstâncias que envolvem determinado sistema.

As VRP revelam-se infraestruturas de importância crucial em sistemas de abastecimento de água em locais cuja orografia dita elevadas variações em altitude. Estas componentes dos sistemas podem ser investigadas em diversas perspetivas, entre as quais se sugere: análises custo-benefício da sua instalação; estudo do efeito da redução de pressões na redução de perdas de água; efeito da instalação de VRP com diferentes tipos de modelação (e.g., diurno/noturno); medição de caudais em VRP, por diferencial de pressões, a montante e a jusante; possibilidade de hidrogeração, utilizando microturbinas em substituição ou complemento de VRP.

A análise do nível económico de perdas (NEP) poderá incluir-se numa ferramenta de apoio à decisão, sendo ponderados, de forma conjunta, com o retorno dos investimentos e os cenários de evolução dos sistemas, procurando apoiar a resposta a determinadas questões, de acordo com o tipo, a dimensão e o contexto do sistema: Até onde investir no combate às perdas de água? Como amortizar o investimento em equipamentos

de apoio ao combate às perdas (e.g., prestação de serviços de deteção de fugas e aflúncias)? Que tipo de concursos de prestação de serviços lançar (e.g., por objetivo)? Como investir, de acordo com a dimensão dos sistemas? Qual o equilíbrio entre as soluções convencionais e qual o espaço para a inovação? Como ajustar as metodologias às EG de pequena, média e grande dimensão?

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alegre, H. (2008). *Gestão Patrimonial de Infra-estruturas de Abastecimento de Água e de Drenagem e Tratamento de Águas Residuais*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Alegre, H., Coelho, S.T., Leitão, J.P. (2012). *Gestão Patrimonial de Infra-estruturas em Sistemas Urbanos de Água*. Jornadas LNEC, Cidades e Desenvolvimento, 18 a 20 de Junho de 2012, Lisboa.

Almeida, A.B. (2011). *Gestão da Água: Incertezas e Riscos. Conceptualização Operacional*. Esfera do Caos, Lisboa, ISBN 9789896800444

Almeida, O.R.S. (2017). *A Sustentabilidade dos Sistemas de Abastecimento de Água. A Emergência do Combate às Perdas de Água e o Papel do Regulador*. Tese de Doutoramento em Sustentabilidade Social e Desenvolvimento, Universidade Aberta.

Cardoso-Gonçalves, J.J.T. e Tentúgal-Valente, J.C. (2018a). *Gestão Operacional de Infraestruturas Hidráulicas. Sistema de Abastecimento de Água de Arouca*. 18º Encontro Nacional de Saneamento Básico, 10-12 de Outubro, Porto.

Cardoso-Gonçalves, J.J.T. e Tentúgal-Valente, J.C. (2018b). *Gestão Operacional de Infraestruturas Hidráulicas. Estudo de Caso: Sistema de Abastecimento de Água de Arouca*. 12^{as} Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP, Porto.

Cardoso-Gonçalves, J. e Tentúgal-Valente, J. (2018c). *Gestão Operacional de Infraestruturas Hidráulicas. Sistema de Abastecimento de Água de Arouca*. 14.º Congresso da Água, Évora, Portugal.

Cardoso-Gonçalves, J.J.T. (2019). *Gestão Operacional de Infraestruturas Hidráulicas*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Cardoso-Gonçalves, J.J.T. e Tentúgal-Valente, J.C. (2017). *Gestão Operacional de Infraestruturas Hidráulicas. Sistema de Abastecimento de Água de Arouca*. 23º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, FEUP, Porto, 15-15 de setembro de 2017.

Covas, D., Cabral, M., Pinheiro, A., Marchionni, V., Antunes, S., Lopes, N., Mamouros, L., Brôco, N. (2018). *Custos de construção de infraestruturas associadas ao ciclo urbano da água - Guia Técnico nº 23*. Entidade Reguladora de Águas e Resíduos e Instituto Superior Técnico.

Hertz, D. B., Thomas, H. (1983). *Risk analysis and its applications*. Wiley: New York, ISBN 9780471101451

Miranda, M.J., Pinto, F. e Pereira, V. (2018). *O Balanço de 2 Anos do "Sistema de Águas da Região do Noroeste" e os Desafios do Desenvolvimento Sustentável*. 18º Encontro Nacional de Saneamento Básico, 10-12 de Outubro, Porto.