

PLANO TÁTICO DE GESTÃO PATRIMONIAL DE INFRAESTRUTURAS DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO LAVRADIO

Bruno Emanuel da Silva Ferreira

**Mestrado em Engenharia Civil
Área de Especialização: Estruturas
Dissertação**

ORIENTADOR: Doutor Nelson Jorge Gaudêncio Carriço

Outubro de 2017

Dissertação submetida no Instituto Politécnico de Setúbal

PLANO TÁTICO DE GESTÃO PATRIMONIAL DE INFRAESTRUTURAS DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO LAVRADIO

Mestrado em Engenharia Civil

DECLARAÇÃO DE AUTORIA DO TRABALHO

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Bruno Emanuel da Silva Ferreira

(assinatura)

DIREITOS DE CÓPIA OU COPYRIGHT

© **Copyright:** Bruno Emanuel da Silva Ferreira

O Instituto Politécnico de Setúbal tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho de mestrado põe termo a mais uma etapa, que seria impossível sem o acompanhamento, incentivo e ajuda de algumas pessoas a quem quero agradecer.

Ao meu Pai e Mãe, por todo o apoio incondicional, carinho, e confiança que depositaram em mim ao investirem na minha formação.

Ao Professor Doutor Nelson Carriço, meu Orientador, por toda a confiança, ajuda, disponibilidade e generosidade com que partilhou os seus conhecimentos.

Ao Engenheiro Francisco Cristão, do Departamento de Águas e Resíduos da Câmara Municipal do Barreiro, pela disponibilidade e prontidão com que encarou os meus sucessivos pedidos de esclarecimento.

À minha irmã Joana, que esteve sempre ao meu lado e que, de uma forma ou de outra, sempre me ajudou a superar as dificuldades.

À Ana, que sempre me clarificou o caminho quando este parecia turvo, por todo o carinho e motivação ao longo de todo o trabalho.

Aos meus amigos e colegas, que estiveram comigo durante todo o percurso académico, pela companhia e ajuda ao longo do mesmo – em especial ao Diogo Felicíssimo, ao Nelson Rebelo, ao Flávio Lopes e ao Jorge Anacleto, pelas muitas horas de trabalho partilhadas.

Os meus mais sinceros e humildes agradecimentos.

RESUMO

O presente trabalho de mestrado tem como objetivo principal a elaboração de um plano tático de gestão patrimonial de infraestruturas (GPI) segundo a metodologia preconizada pela Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR), aplicada à rede de abastecimento de água do Lavradio. Esta metodologia tem em conta três níveis de decisão (i.e., estratégico, tático e operacional) assim como três dimensões de análise, nomeadamente, o custo, o risco e o desempenho.

Com base nas estratégias definidas no plano estratégico de GPI para o período 2015-2035, definiram-se os objetivos táticos, os critérios e as métricas de avaliação. Para calcular algumas das métricas recorreu-se a ferramentas de apoio, como por exemplo, modelo de simulação hidráulica da rede e balanço hídrico do sistema. O diagnóstico tático, que consistiu no cômputo das métricas, revelou uma rede envelhecida, com excessivas intervenções em ramais e uma elevada percentagem de consumo não medido.

Com base no resultado do diagnóstico foram definidas as metas que se pretendem atingir nos horizontes de análise considerados. Desenvolveram-se, para além da alternativa de referência de *statu quo*, três outras alternativas de modo a permitir solucionar os problemas identificados assim como alcançar as metas estabelecidas. Posteriormente, procedeu-se à previsão do desempenho futuro de cada uma destas alternativas, tendo em conta a inexorável deterioração dos componentes. A par desta previsão futura, foi calculado o investimento anual associado à implementação de cada uma das alternativas e verificada a sua exequibilidade orçamental.

Os resultados obtidos para as diferentes métricas foram agregados através de um método multicritério, o qual devolveu uma ordenação preferencial das alternativas de intervenção.

As alternativas que apresentavam o melhor desempenho e que cumpriam com as metas estabelecidas foram excluídas da análise uma vez que excediam o orçamento disponível. Independentemente disso, a alternativa mais bem classificada não permitiria que diversas metas fossem alcançadas nos horizontes de planeamento considerados. Concluiu-se assim que as metas não estão adaptadas ao sistema em análise, ficando a recomendação para a revisão das metas constantes no plano estratégico.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão Patrimonial de Infraestruturas, Custo, Desempenho, Risco, Reabilitação.

ABSTRACT

The current master's thesis has as its primary objective the elaboration of an infrastructure asset management (IAM) plan at a tactical level, using methodology preconized by the Portuguese Water and Waste Services Regulation Authority (ERSAR) and applied to Lavradio's water supply system. This methodology establishes that the IAM plan should have three distinct planning levels: strategic, tactical and operational. Each level of planning should consider three different points of view: cost, risk, and performance.

The definition of the tactical objectives, criteria, and metrics was based on the strategies and the strategic objectives, previously defined in the strategic plan for the period of 2015-2035. Support tools were used to calculate some of the metrics, such as the network's hydraulic simulation model and water balance. A diagnosis is reached after the metrics were calculated, and reveals a decayed network, an excessive amount of interventions conducted in its service connections, and an elevated percentage of unmetered consumption.

Targets to be achieved within the analysis' horizon were defined based on the diagnosis' result. Three other alternatives were developed, along with the status quo alternative, to solve the already acknowledged problems, as well as achieving the pre-established targets. The inevitable deterioration of the components was considered in the assessment of the alternatives' responses over time. The annual investment needed to implement each one of the alternatives was calculated along with this future forecast, and its financial feasibility was considered.

The alternatives' results for all different metrics were aggregated through a multicriteria decision analysis method to rank the alternatives.

The best alternatives that comply with the pre-established targets were vetoed from the analysis, as they exceeded the available budget. Nonetheless, the outstanding alternative would not permit certain targets to be achieved within the pre-established planning horizons. As a conclusion is reached, revealing that the pre-established targets would not adapt to the case study, a review of the current strategic plan's targets is highly recommended.

KEYWORDS: Infrastructure Asset Management, Cost, Performance, Risk, Rehabilitation.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos.....	i
Resumo	iii
Abstract.....	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos da dissertação.....	2
1.3. Estrutura da dissertação	3
2. SÍNTESE DE CONHECIMENTOS.....	5
2.1. Breve enquadramento	5
2.2. Gestão patrimonial de infraestruturas de abastecimento de água.....	7
2.2.1. Planeamento estratégico	11
2.2.2. Planeamento tático.....	13
2.2.3. Planeamento operacional	15
2.3. Avaliação do desempenho	15
2.4. Avaliação do risco.....	17
2.5. Avaliação do custo.....	19
3. METODOLOGIA.....	21
3.1. Nota introdutória.....	21
3.2. Definição do horizonte temporal.....	21
3.3. Alinhamento com o planeamento estratégico	22
3.4. Objetivos táticos	22
3.5. Critérios de avaliação	23
3.6. Métricas	24
3.7. Diagnóstico tático	25
3.7.1. Identificação e avaliação da informação	25
3.7.2. Modelação Hidráulica	27
3.7.3. Avaliação da situação de referência	28
3.7.4. Definição das metas	28
3.8. Estabelecimento de cenários para o futuro.....	28
3.9. Produção do plano.....	29
3.10. Implementação, monitorização e revisão do plano.....	31

4. CASO DE ESTUDO	33
4.1. Enquadramento geográfico	33
4.2. Caracterização física da zona em estudo	34
4.3. Definição do horizonte temporal	37
4.4. Alinhamento com o planeamento estratégico	38
4.5. Objetivos táticos	39
4.6. Critérios de avaliação	40
4.7. Métricas	40
4.8. Diagnóstico atual	43
4.8.1. Recolha e avaliação da Informação	43
4.8.2. Modelação hidráulica	44
4.8.3. Balanço Hídrico	46
4.8.4. Avaliação da situação de referência	47
4.8.4.1. Índice de Valor da infraestrutura	48
4.8.4.2. Reabilitação da rede	48
4.8.4.3. Perdas reais de água em ramais	49
4.8.4.4. Ineficiência na utilização dos recursos hídricos	50
4.8.4.5. Água não medida	51
4.8.4.6. Pressão mínima acima da referência	52
4.8.4.7. Excesso de energia fornecida à rede	53
4.8.4.8. Tempo de falha devido a intervenções em condutas	53
4.8.4.9. Tempo de falha devido a intervenções em ramais	54
4.8.4.10. Avarias em condutas	55
4.8.4.11. Intervenções em ramais	56
4.8.4.12. Reclamações	57
4.8.4.13. Custos operacionais	57
4.8.4.14. Custos de investimento	58
4.8.4.15. Resumo da avaliação da situação de referência	59
4.8.5. Definição das metas	60
4.9. Estabelecimento de cenários de evolução de consumos	60
4.10. Produção do plano	61
4.10.1. Desenvolvimento de alternativas de intervenção	61
4.10.2. Previsão do desempenho futuro das alternativas de intervenção	63
4.10.3. Ordenação preferencial das alternativas de intervenção	65
4.10.4. Discussão dos resultados	70
5. SÍNTESE E CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXO 1	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Abordagem PDCA de melhoria contínua (Alegre et al., 2012)	9
Figura 2 – Passos para a elaboração do plano (Alegre e Covas, 2011).....	10
Figura 3 - Processo de planeamento estratégico (Alegre e Covas, 2010; Almeida e Cardoso, 2010).....	11
Figura 4 – Etapas da identificação e avaliação da informação (Alegre e Covas, 2010; Almeida e Cardoso, 2010)	14
Figura 5 – Etapas da identificação e análise das alternativas de intervenção (Alegre e Covas, 2010; Almeida e Cardoso, 2010).....	14
Figura 6 - Processo para a gestão do risco (ISO 31000: 2009).....	17
Figura 7 - Exemplo de definição da escala da normalização da métrica no método AWARE Plan	30
Figura 8 – Enquadramento geográfico do caso do estudo	33
Figura 9 - Configuração da rede no meio urbano.....	35
Figura 10 - Materiais constituintes da rede	35
Figura 11 - Ano de instalação por material das condutas de distribuição	36
Figura 12 - Ano de instalação por material das condutas de adução	37
Figura 13 - Modelo EPANET da rede de abastecimento de água	44
Figura 14 - Estação sobressora.....	45
Figura 15 - Padrão Consumo.....	46
Figura 16 - Ordenação final das alternativas, em diferentes instantes do período de análise	66
Figura 17 - Resultados obtidos com o método AWARE-Plan para as diferentes métricas no ano 2020.....	67
Figura 18 - Resultados obtidos com o método AWARE-Plan para as diferentes métricas no ano 2035.....	67
Figura 19 - Análise com o AWARE-Plan utilizando o peso igual em todas as métricas	68
Figura 20 – Análise com o AWARE-Plan considerando as métricas das dimensões "custo" e "desempenho".....	68
Figura 21 - Análise com o AWARE-Plan considerando as métricas das dimensões "desempenho" e "risco"	69
Figura 22 - Análise com o AWARE-Plan considerando as métricas das dimensões "custo" e "risco"	69

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Principais pilares de competências na GPI (Sanina, 2010)	8
Quadro 2 – Características dos níveis de decisão e planeamento (Alegre et al., 2012)	10
Quadro 3 - Horizonte temporal do plano tático.....	22
Quadro 4 – Exemplo de estratégias.....	22
Quadro 5 – Exemplo de objetivos táticos.....	23
Quadro 6 -Exemplos de critérios de avaliação.....	24
Quadro 7 – Categorias das medidas de desempenho (Alegre e Covas, 2010)	24
Quadro 8 – Exemplo de indicador de desempenho de sustentabilidade infraestrutural	25
Quadro 9 - Bandas de fiabilidade da fonte de informação (Alegre e Covas, 2010)	26
Quadro 10 – Possível avaliação da informação	27
Quadro 11 - Horizonte temporal do plano tático.....	38
Quadro 12 – Estratégias definidas no plano estratégico de GPI (CMB, 2015)	38
Quadro 13 - Objetivos táticos e respetivo alinhamento com o nível estratégico.....	39
Quadro 14 - Critérios de avaliação.....	40
Quadro 15 – Métricas de avaliação consideradas.....	42
Quadro 16 - Tipo, origem e lacunas da informação	43
Quadro 17 - Balanço Hídrico do sistema.....	47
Quadro 18 - índice de valor da infraestrutura para o ano de referência de 2016.....	48
Quadro 19 – Indicador de reabilitação da rede para o ano de referência de 2016	49
Quadro 20 - Perdas reais de água por ramal para o ano de referência de 2016	50
Quadro 21 - Ineficiência na utilização dos recursos hídricos para o ano de referência de 2016	51
Quadro 22 – Água não medida para o ano de referência de 2016.....	51
Quadro 23 - Pressão mínima acima da referência para o ano de 2016	52
Quadro 24 - Excesso de energia fornecido á rede para o ano de 2016	53
Quadro 25 - Tempo de falha devido a intervenções em condutas para o ano de 2016	54
Quadro 26 - Tempo de falha devido a intervenções em ramais para o ano de 2016...	55
Quadro 27 - Avarias em condutas para o ano de 2016.....	56
Quadro 28 - Intervenções em ramais para o ano de 2016	57
Quadro 29 - Cálculo das reclamações para o ano de 2016.....	57
Quadro 30 - Cálculo dos custos operacionais para o ano de 2016	58
Quadro 31 – Resultados para a situação de referência e definição de metas	60
Quadro 32 - Previsão do desempenho futuro de cada alternativa.....	63
Quadro 33 - Investimento anual associado a cada alternativa de intervenção	64
Quadro 34 –Orçamento disponível	65
Quadro 35 - Coeficientes de ponderação adotados	66

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- AA – Águas de abastecimento
AIA – Associação Intermunicipal de Águas
AR – Águas residuais
AWARE-P - Advanced Water Asset REhabilitation in Portugal
CMB - Câmara municipal do Barreiro
DAR – Departamento de Águas e Resíduos
EG – Entidade gestora
ERSAR – Entidade reguladora dos serviços de águas e resíduos
GPI – Gestão patrimonial de infraestruturas
IAM - Infrastructure asset management
iGPI – Iniciativa Nacional para a Gestão Patrimonial de Infraestruturas
IST – Instituto Superior Técnico
LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil
O&M – Operação e manutenção
PDCA – Plan-Do-Check-Act
PEAD – Polietileno de alta densidade
PVC – Policloreto de vinilo
RASARP –Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal
SIG – Sistema de Informação Geográfica
TRUST - Transitions to the Urban Water Services of Tomorrow

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

A maioria das redes de distribuição de água e de drenagem de águas residuais europeias foram construídas após as grandes guerras mundiais, de forma a aumentar os baixos níveis de cobertura então existentes. Em Portugal, o investimento nestas infraestruturas ocorreu mais tarde, com a implementação das políticas de estabilização económico-sociais e dos planos de fomento levados a cabo pelo regime do Estado Novo. Passados mais de 60 anos, a degradação inevitável de grande parte dessas infraestruturas aliado às cada vez maiores exigências de desempenho em termos de eficiência e de qualidade do serviço prestado aos utilizadores resultam em novos desafios para as entidades gestoras (EG) (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2014). Um dos atuais desafios é a tomada de decisão sobre quais os componentes a reabilitar prioritariamente de modo a garantir a sustentabilidade económico-financeira das entidades e manter os níveis de serviço adequados. A reabilitação destas infraestruturas implica investimentos elevados em capital fixo sendo desejável a adoção de estratégias de decisão que permitam às EG selecionar as suas intervenções de modo eficaz (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2014). A resposta às questões o quê, onde, quando e como reabilitar pode ser dada pela Gestão Patrimonial de Infraestruturas (GPI).

A GPI ou *Infrastructure Asset Management* (IAM), em terminologia anglo-saxónica, é uma abordagem integrada e multidisciplinar pela qual a organização gere de modo racional as suas infraestruturas. No caso do abastecimento de água, a GPI incide sobre a gestão dos ativos fixos tangíveis que compõem os sistemas diretamente associados à prestação do serviço, como sejam as condutas, os reservatórios, as estações elevatórias e as estações de tratamento (Alegre e Covas, 2010). Assim, a GPI tem como principal objetivo garantir um balanço entre os riscos assumidos e o desempenho, assegurando o nível desejado de serviço e minimizando os custos relativos à sua posse, construção ou intervenção, manutenção e operação (Barata, 2008; Carriço, 2014).

No caso de Portugal, de acordo com o relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal (RASARP) de 2016, a taxa de cobertura do serviço para águas de abastecimento (AA) é de 95%, tendo sido alcançada a meta estabelecida de 95%. No caso das águas residuais (AR), a taxa de cobertura do serviço é de 83%, situando-se próxima da meta estabelecida de 90%. Desta forma, a GPI incide, sobretudo, na manutenção e reabilitação dos

sistemas existentes (Carriço, 2014). A Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), tem como um dos seus objetivos principais promover o aumento de eficiência das EG de sistemas urbanos de água, bem como o da qualidade do serviço prestado aos utilizadores. Neste âmbito, a ERSAR promoveu a publicação de dois guias técnicos relativos à GPI, um vocacionada para o abastecimento de água e o outro para os sistemas de águas residuais e pluviais (Alegre e Covas, 2010; Almeida e Cardoso, 2010; Carriço, 2014). Estes guias apresentam uma metodologia assente em cinco passos fundamentais para a elaboração de planos de GPI e estruturada em três níveis de decisão – estratégico, tático e operacional (Carriço, 2014).

A importância de um plano de GPI é reforçada com a entrada em vigor dos Decretos-lei n.º 194/2009 e n.º 195/2009, ambos de 20 de agosto, relativos ao regime jurídico dos serviços municipais e multimunicipais, respetivamente, e que obrigam as EG que sirvam mais de 30 000 habitantes a promover e a manter um sistema de GPI (Artigo 8º, ponto 5, alínea b) do Decreto-lei n.º 194/2009), assim como as concessionárias multimunicipais a apresentarem um inventário patrimonial afeto à concessão que inclua as prioridades de reabilitação ou substituição e respetiva calendarização (Artigo 6º do Decreto-lei n.º 195/2009).

Desta forma, a GPI desempenha um papel fundamental na gestão dos serviços de água.

1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação de mestrado tem como principal objetivo a elaboração de um plano tático de gestão patrimonial de infraestruturas aplicado a um caso de estudo, nomeadamente, a rede de distribuição de água do Lavradio. Para o efeito será seguida a metodologia preconizada no já referido guia técnico da ERSAR. A aplicação desta metodologia implica a elaboração do diagnóstico da rede e a posterior definição das respetivas prioridades de intervenção. Os dados necessários para a elaboração do plano tático foram fornecidos pela Câmara Municipal do Barreiro (CMB) que acompanhou o desenvolvimento do trabalho e que contribuiu com várias sugestões.

Os objetivos específicos adotados para concretizar o objetivo geral são:

- estabelecimento de objetivos, critérios e das métricas de avaliação e respetivas metas;
- recolha e análise da informação necessária para a realização de um plano tático;
- realização do diagnóstico tático;
- estabelecimento de alternativas de intervenção;
- ordenação das alternativas e recomendação da melhor.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação de mestrado encontra-se estruturada em cinco capítulos e um anexo. No capítulo introdutório (Capítulo 1) faz-se o enquadramento da dissertação e apresentam-se os objetivos geral e específicos a serem atingidos. No segundo capítulo (Capítulo 2) faz-se a síntese de conhecimentos sobre os últimos desenvolvimentos no âmbito da GPI. No Capítulo 3 apresenta-se a metodologia utilizada para a elaboração do plano tático de gestão patrimonial de infraestruturas que será aplicada no caso de estudo. No capítulo 4 apresenta-se o caso de estudo e procede-se à aplicação da metodologia apresentada no Capítulo 3. Finalmente, no Capítulo 5 apresentam-se as principais conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2. SÍNTESE DE CONHECIMENTOS

2.1. BREVE ENQUADRAMENTO

O período após a 2ª Guerra Mundial foi marcado pelo investimento e desenvolvimento das infraestruturas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais com o objetivo de aumentar os então baixos níveis de cobertura existentes. Esta preocupação estava presente um pouco por toda a Europa, sendo que em Portugal esse investimento ocorreu mais tarde com a implementação das políticas de estabilização económico-sociais e os planos de fomento levados a cabo pelo regime do Estado Novo (Carriço, 2014).

As infraestruturas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais são essenciais ao desenvolvimento das sociedades, assumindo um papel determinante no bem-estar das populações, com reflexos na saúde, na educação e na produtividade das sociedades (Sanina, 2010). Atualmente, muitas destas infraestruturas têm idades superiores a 60 anos e encontram-se bastante degradadas.

A degradação das infraestruturas e dos respetivos componentes é um processo natural e inevitável e provoca o aumento dos custos de operação e manutenção (O&M) e a diminuição da fiabilidade dos sistemas e da qualidade do serviço prestado (Carriço, 2014). Os técnicos das entidades gestoras (EG) são assim confrontados com novos desafios em decidir quais os componentes a reabilitar prioritariamente de modo a garantir a sustentabilidade económico-financeira das entidades e manter níveis de serviço adequados (Leitão *et al.*, 2016).

É neste contexto que surge a Gestão Patrimonial de Infraestruturas (GPI), com maior relevância na manutenção e na reabilitação dos sistemas existentes. Não obstante, a GPI deve ainda ser utilizada no planeamento, conceção e construção de novos sistemas.

Entende-se por GPI como a gestão sustentável e estratégica das infraestruturas urbanas de água, focada na gestão dos componentes (ou ativos fixos tangíveis, terminologia mais ligada à área financeira) que constituem os sistemas. No caso de sistemas de abastecimento de água, esses ativos são as condutas e respetivos componentes, as estações elevatórias, os reservatórios e as estações de tratamento. Estes componentes estão sujeitos a diferentes causas de degradação ao longo do tempo, tornando-se necessário desenvolver estratégias de reabilitação, de uma forma planeada e articulada com outros processos de gestão (Alegre e Covas, 2010).

Foi na Austrália que, em conjunto com a Nova Zelândia, se deram os primeiros avanços na temática da GPI urbanas de água, resultando na publicação em 1986-1987 por parte do *South Australian Public Accountants Committee* - uma série de oito relatórios a alertar os governos australianos para a necessidade de considerar seriamente e com urgência os problemas da gestão do seu património em infraestruturas, de modo a evitar a degradação dos serviços públicos correspondentes (Alegre, 2007). Estes relatórios desempenharam um papel crucial na disseminação do tema *Asset Management* associado às infraestruturas de abastecimento de água e drenagem de águas residuais, bem como no estabelecimento dos princípios e conceitos fundamentais. Foi também desenvolvida uma nova abordagem global de gestão, onde o *Asset Management* está presente em todos os níveis de decisão, compreendendo tanto a definição de estratégias e o estabelecimento de objetivos gerais a longo prazo, como a elaboração de planos de manutenção específicos a curto prazo (Alegre e Coelho, 2012; Barata, 2008). A abordagem conjunta da Austrália e Nova Zelândia influenciou novos avanços nesta temática da gestão patrimonial de infraestruturas realizados noutros países, sendo exemplo disso o Reino Unido com o desenvolvimento da especificação BSI PAS 55: 2004, que mais tarde deu origem à norma ISO 55000, e os Estados Unidos da América com a publicação do manual *Implementing asset management: a practical guide* (AMWA et al., 2007).

Em Portugal têm sido tomadas medidas importantes nos últimos anos para reverter a tendência de degradação dos sistemas e dotar as EG de conhecimentos e meios para lidar com o problema da sustentabilidade das infraestruturas a longo prazo. A entrada em vigor dos Decretos-lei n.º 194/2009 e n.º 195/2009, ambos de 20 de agosto de 2009 e relativos ao regime jurídico dos serviços municipais e multimunicipais, respetivamente, obriga as entidades gestoras de serviços urbanos de água que sirvam mais de 30 000 habitantes a promover e a manter um sistema de Gestão Patrimonial de Infraestruturas (GPI) (Artigo 8º, ponto 5, alínea b) do Decreto-lei n.º 194/2009). Estes dois decretos-lei refletem a preocupação da Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR) relativamente à necessidade das EG adotarem estratégias adequadas para a GPI dos sistemas urbanos de água. No seguimento desta legislação, e de forma a dotar as EG com o *know-how* e as ferramentas necessárias para uma correta tomada de decisão no âmbito da GPI, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) desenvolveu e participou em projetos de investigação europeus, nomeadamente, o AWARE-P e o TRUST.

O projeto “Advanced Water Asset REhabilitation in Portugal (AWARE-P)” reuniu três parceiros de investigação (LNEC e IST de Portugal e o SINTEF da Noruega), dois parceiros tecnológicos (Ydreams e Addition) e o regulador nacional, bem como quatro utilizadores finais (AdP Serviços S.A.; AGS S.A.; Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Oeiras e Amadora, SMAS O&A; e Veolia Água). A continuidade do projeto AWARE-P foi assegurada através do projeto de investigação “Transitions to the Urban Water Services of Tomorrow

(TRUST)” (Carriço, 2014; Leitão *et al.*, 2016). Como resultado foram produzidos *softwares* de apoio à decisão (i.e., Baseform), assim como uma metodologia para a elaboração de planos de GPI que foi publicada em dois guias técnicos da ERSAR, nomeadamente, os n.º 16 e 17, para os sistemas de abastecimento de água e os sistemas de drenagem de águas residuais e pluviais, respetivamente (Alegre e Covas, 2010; Almeida e Cardoso, 2010).

De referir ainda que o LNEC em conjunto com o Instituto Superior Técnico e a empresa de desenvolvimento de *software* Addition, Lda. têm levado a cabo iniciativas nacionais com o objetivo de capacitar as EG para o desenvolvimento e implementação dos seus próprios planos de GPI e que à data já conta com duas edições.

Nos subcapítulos seguintes é apresentada o estado do conhecimento atual para a elaboração de planos táticos de gestão patrimonial de infraestruturas de abastecimento de água.

2.2. GESTÃO PATRIMONIAL DE INFRAESTRUTURAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A GPI tem sido reconhecida como essencial para a sustentabilidade dos serviços assentes em infraestruturas físicas com elevado custo de construção e manutenção. Numa altura em que o capital mobilizado para reabilitar infraestruturas urbanas é inferior ao desejável dado o cenário macroeconómico que o país vive, torna-se indispensável assegurar a racionalidade e a transparência das decisões, maximizando os benefícios a longo prazo. A GPI consiste num conjunto de estratégias, atividades e práticas coordenadas e sistemáticas, através das quais a organização gere as suas infraestruturas de um modo racional, de forma a garantir o equilíbrio entre o desempenho, o custo e o risco associados ao ciclo de vida dos ativos que as compõem (Alegre e Coelho, 2012; Carriço, 2014). A gestão destes serviços constitui-se como um monopólio natural, dado que a prestação do serviço requer a construção e o uso de infraestruturas físicas onerosas, que não podem ser partilhadas com outros sectores de atividade, nem podem ser facilmente partilhadas simultaneamente por mais de um operador. Desta forma é limitadora a regência pelas leis de concorrência do mercado, não incentivando assim à melhoria contínua da eficiência (Alegre *et al.*, 2012; Alegre e Coelho, 2012). É da responsabilidade das EG fazer a gestão destes sistemas e proceder às reabilitações e expansões, caso existam, de forma a corresponder ao aumento das exigências de desempenho em termos de eficiência e da qualidade do serviço prestado aos utilizadores. No caso dos sistemas urbanos de água, quando a situação pretendida é aumentar os níveis de cobertura de serviço, a GPI incide fundamentalmente no planeamento, conceção e construção de novos sistemas (e.g., nos países em desenvolvimento) e no caso em que os sistemas de abastecimento já se encontram construídos, a GPI foca-se na manutenção e reabilitação desses sistemas (Alegre e Covas, 2010).

Uma abordagem estruturada de GPI, quando devidamente aplicada, auxilia a EG a:

- garantir a sustentabilidade de níveis de serviço adequados;
- clarificar e justificar as prioridades de investimento;
- encontrar um balanço entre desempenho, custo e risco a curto, médio e longo prazos;
- utilizar de forma sustentável os recursos hídricos, energéticos, humanos e tecnológicos, entre outros;
- planear a adaptação dos sistemas às alterações climáticas;
- privilegiar a reabilitação das infraestruturas existentes, sobre a construção de novas, sempre que possível;
- fomentar o investimento e os ganhos de eficiência operacionais.

A GPI é uma abordagem multidisciplinar, sendo os principais pilares de competência a gestão (incluindo economia e sociologia das organizações), a engenharia (e.g., civil, ambiental, mecânica) e a informação (e.g., gestão da informação, comunicação, informática) (Alegre e Covas, 2010). No Quadro 1 indicam-se as competências dos pilares da GPI.

Quadro 1 - Principais pilares de competências na GPI (Sanina, 2010)

Gestão	Engenharia	Informação
<ul style="list-style-type: none"> • Definição de projetos empresariais • Organização da entidade gestora • Planeamento de sistemas de informação (SI) • Política de avaliação e gestão do desempenho • Planeamento de recursos • Política de gestão de informação • Gestão de projetos • Gestão financeira • (Risco financeiro) 	<ul style="list-style-type: none"> • Planeamento estratégico • Planeamento tático • Planeamento operacional • Projeto • Construção • Operação • Manutenção 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestão e operação de recursos informáticos • Gestão de software • Conceção de SI • Implementação de SI • Integração de SI • Gestão de SI • Gestão de informação

A implementação de um plano de GPI pode ser realizada de diversas formas, sendo que, como referido anteriormente, em Portugal foi preconizada uma metodologia desenvolvida no âmbito do projeto europeu AWARE-P. Esta metodologia tem explicitamente em conta o facto de que as infraestruturas de abastecimento de água ou de drenagem de águas residuais e pluviais têm um funcionamento predominantemente como sistema (i.e., o comportamento dos

componentes individuais não é independente entre si). Uma rede de distribuição de água ou de drenagem de águas residuais não tem uma vida finita uma vez que não pode ser substituída na sua totalidade mas apenas componente por componente (Alegre *et al.*, 2011).

A metodologia segue os princípios de melhoria contínua estabelecidos na norma NP EN ISO 9001:2000, relativa aos sistemas de gestão da qualidade, e na norma NP EN ISO 14001:2004, relativa aos sistemas de gestão ambiental, através de uma abordagem *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), em português: Planear-Executar-Verificar-Atuar. A Figura 1 apresenta esquematicamente a abordagem de melhoria contínua PDCA.

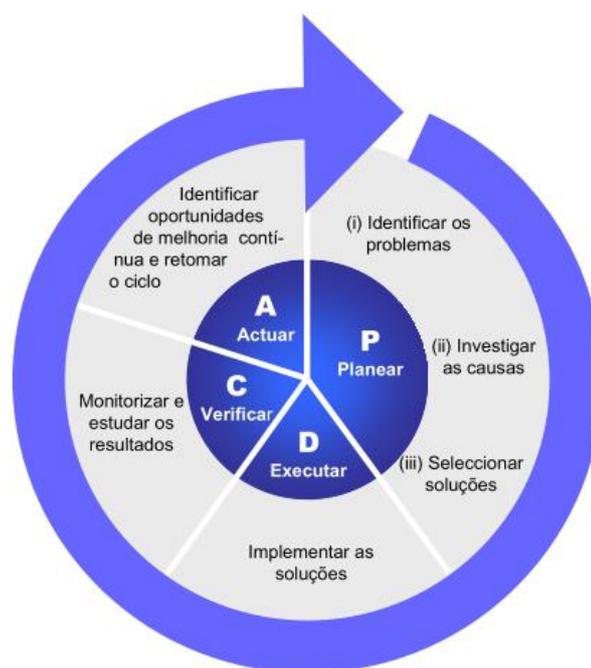


Figura 1 - Abordagem PDCA de melhoria contínua (Alegre *et al.*, 2012)

A metodologia também segue as recomendações constantes nas normas internacionais ISO 24510:2007 e ISO 24511:2007 segundo as quais a gestão deve ser guiada por objetivos, especificados em critérios e métricas de avaliação, que permitem definir metas e monitorizar resultados.

O plano de GPI deve ser organizado em três níveis de decisão e planeamento diferenciados (Alegre *et al.*, 2011; Alegre *et al.*, 2012):

- **nível estratégico**, orientado pela visão geral da organização no longo prazo, com o objetivo de estabelecer e comunicar as prioridades estratégicas aos colaboradores e cidadãos em geral, estabelecendo os objetivos estratégicos e respetivas metas, mas não as vias para atingir os resultados pretendidos;

- **nível tático**, onde os gestores intermédios responsáveis pelas infraestruturas planeiam, decidem e implementam as melhores ações de médio prazo e as vias para atingir os resultados pretendidos, ou seja, as táticas a adotar para que os objetivos estratégicos sejam atingidos;
- **nível operacional**, onde as ações de curto prazo são planeadas e implementadas.

O Quadro 2 sintetiza as principais características de cada um destes três níveis de decisão.

Quadro 2 – Características dos níveis de decisão e planeamento (Alegre *et al.*, 2012)

Níveis	Estratégico	Tático	Operacional
Escala	Macroescala	Escala intermédia	Pormenor
Âmbito	Sistema global	Subsistemas e componentes críticos	Grupos de componentes
Tipo de ação	Define a direção	Define o caminho	Executa
Responsável	Administrador da infraestrutura	Gestor da infraestrutura	Chefe da operação da infraestrutura
Resultados	Estratégias	Táticas	Programa de ações
Horizonte temporal	Longo prazo (10 a 20 anos)	Médio prazo (3 a 5 anos)	Curto prazo (1 a 2 anos)

O planeamento da GPI deverá ser estruturado nestes três níveis e ser parte integrante do planeamento global da organização. Estes níveis de planeamento são indispensáveis para garantir a harmonia de todo o processo e o cumprimento dos objetivos e metas traçados pela organização. Cada nível de decisão e planeamento pode ser sistematizado numa sequência de cinco passos fundamentais, conforme apresentado na Figura 2.



Figura 2 – Passos para a elaboração do plano (Alegre e Covas, 2011)

Na fase de produção do plano procede-se ao estabelecimento, avaliação, comparação e seleção de opções técnicas de intervenção tendo em conta critérios, muitas vezes contraditórios e expressos através de diferentes métricas.

De acordo, com a metodologia preconizada em Alegre e Covas (2010) e Almeida e Cardoso (2010), a tomada de decisão deverá ter por base as dimensões de análise de custo, risco e desempenho, aumentando consideravelmente a complexidade do problema de decisão. O equilíbrio entre estas três dimensões de análise não é trivial e cabe, inevitavelmente, ao decisor selecionar a solução que corresponda ao melhor compromisso entre as referidas dimensões.

2.2.1. PLANEAMENTO ESTRATÉGICO

O planeamento estratégico é de grande importância na definição da orientação das entidades, dos objetivos a atingir e das estratégias para os alcançar. É o processo através do qual a entidade identifica e trata aspetos internos e externos do meio envolvente com impacto na atividade, com o fim de melhorar o desempenho da organização e sustentar posteriores ações de gestão, como o planeamento tático e operacional (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2014).

Envolvendo uma equipa multidisciplinar e tendo um horizonte temporal de longo prazo (i.e., 10 a 20 anos), a elaboração do um plano estratégico é realizada mediante as fases apresentadas na Figura 3.



Figura 3 - Processo de planeamento estratégico (Alegre e Covas, 2010; Almeida e Cardoso, 2010)

Como apresentado na Figura 3, o início do processo de planeamento estratégico dá-se com a identificação da visão e da missão da EG. A visão procura evidenciar os valores intemporais que uma determinada EG tem sobre o seu futuro, e com os quais pretende atingir o sucesso, sem haver, no entanto, uma clarificação de como o atingir. Assim, a visão estabelece orientações à organização no sentido de cumprir metas de longo prazo, bem como a imagem que pretende transmitir ao exterior (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2014).

A missão não é mais que uma breve declaração, constituída por uma única frase, na qual a organização traduz os ideais e as orientações globais da empresa. Deve ser curta, explícita e servir como forma de motivação aos colaboradores da EG (Carriço, 2014).

Em seguida, devem definir-se os objetivos estratégicos da organização. Ao contrário da missão, que é definida de uma forma genérica, vaga e não quantificada, os objetivos estratégicos devem ser concisos e quantificáveis, para que seja possível medir o seu alcance. Juntamente com os objetivos estratégicos devem ser definidos os critérios de avaliação (i.e., aspetos ou perspetivas a ter em conta em cada objetivo) e as métricas que os permite avaliar assim como as respetivas metas a atingir (Alegre *et al.*, 2010).

O diagnóstico estratégico é a etapa que se segue e tem como finalidade proporcionar uma visão completa sobre a situação inicial, identificando os interlocutores e fatores, internos e externos, com os quais a organização tem que interagir. Este diagnóstico é realizado com recurso a análises internas, focadas nas características da própria EG, permitindo identificar os seus pontos fortes e fracos, e a análises externas, focadas nas interações entre a EG e o seu ambiente exterior, que visam identificar as condicionantes externas, incluindo ameaças e oportunidades que, de alguma forma, têm impacto nas atividades desenvolvidas pela EG (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2014).

Com base nos objetivos estratégicos anteriormente definidos, procede-se à formulação, comparação e seleção de estratégias alternativas que indicam o caminho para atingir esses objetivos. Estas estratégias atuam sobre as ameaças e as oportunidades, identificadas na fase de diagnóstico, bem como sobre os pontos fortes e pontos fracos encontrados na EG (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2014).

A produção do plano estratégico consiste na redação de um documento que resulta do processo de planeamento estratégico. Este deve ser sintético, claro e que sirva de guia a todas as partes interessadas, internas e externas (Alegre *et al.*, 2010).

A implementação do plano estratégico consiste no desenvolvimento de planos táticos com ele articulados e coerentes. É através destes planos que se materializam as ações que executam as estratégias, incidindo esta importante tarefa sobre responsáveis pelo planeamento tático e operacional (Alegre *et al.*, 2010).

A implementação do plano estratégico deve ser alvo de monitorização de modo a avaliar os resultados efetivamente obtidos, expressos nas métricas de desempenho selecionadas, e comparar com as respetivas metas para a identificação dos eventuais desvios. As causas destes desvios deverão ser analisadas tendo em vista possíveis ações corretivas que possam determinar ou não a revisão do plano (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2014).

2.2.2. PLANEAMENTO TÁTICO

O objetivo do planeamento tático é materializar as estratégias estabelecidas no nível estratégico, definindo a forma de as implementar sectorial e temporalmente. Assim, do planeamento estratégico resultam diversos planos táticos, sendo um deles o plano de GPI. Neste plano deve constar as informações sobre as intervenções nas infraestruturas, no que diz respeito a obras de reabilitação, expansão e rotinas de manutenção. É também neste nível que são tomadas as decisões de engenharia. O objetivo deste plano tático é o de definir as prioridades de intervenção e as soluções a adotar num horizonte temporal de 3 a 5 anos (Alegre e Coelho, 2012; Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2014).

A elaboração de um plano tático deve ser iniciada com a definição da infraestrutura a que o plano se refere, assim como a delimitação da área servida. Em organizações mais complexas poderá haver mais que um plano tático de GPI de forma a cobrir a área abrangida no planeamento estratégico (Alegre e Covas, 2010).

Os objetivos táticos traduzem os objetivos estratégicos, definindo assim os recursos necessários para alcançar os níveis de desempenho desejados. Segundo a metodologia recomendada, a definição dos objetivos táticos passa pela associação direta a cada uma das estratégias estabelecidas no nível estratégico. Para que a EG possa monitorizar o progresso conseguido, devem ser definidos critérios de avaliação para estes objetivos táticos, adaptados à realidade do sistema em análise. Deverão também ser definidas métricas associadas a cada critério, de forma a verificar em que medida os objetivos são satisfeitos. Estas métricas devem incorporar as três dimensões da análise (i.e., o desempenho, o risco e o custo) e ser tão objetivas e quantificáveis quanto possível (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2014).

O passo seguinte é o diagnóstico tático e consiste na análise do sistema urbano de água em estudo permitindo desta forma identificar as anomalias que indiciam a existência de problemas. Permite também prever a evolução a médio e a longo prazo das solicitações de serviço e da degradação por envelhecimento dos componentes. O diagnóstico tático compreende as fases da identificação e avaliação da informação e da avaliação do sistema atual.

A fase da identificação e avaliação da informação é composta pelas etapas constantes na Figura 4. A informação utilizada para a realização do diagnóstico é de vital importância e deve permitir caracterizar o sistema em análise, suportar a respetiva avaliação nas três dimensões de análise (i.e., desempenho, custo e risco), deve permitir prever a evolução a médio e longo prazo, nomeadamente nas solicitações de serviço (e.g., consumos) e degradação da condição física dos componentes, identificar eventuais anomalias e, também, fundamentar as táticas. Regra geral, os dados necessários para o cálculo das métricas (desempenho, custo e risco), ao nível global do sistema, provém de informação cadastral, operacional, sobre solicitações e contabilísticas.



Figura 4 – Etapas da identificação e avaliação da informação (Alegre e Covas, 2010; Almeida e Cardoso, 2010)

Tendo como ponto de partida os resultados da avaliação, definem-se as metas que se pretendem atingir e procede-se à identificação e análise de alternativas de intervenção com potencial para melhorar o desempenho do sistema e contribuir para o cumprimento destas metas e requisitos previamente estabelecidos. Para isto são mobilizadas as etapas identificadas na Figura 5.

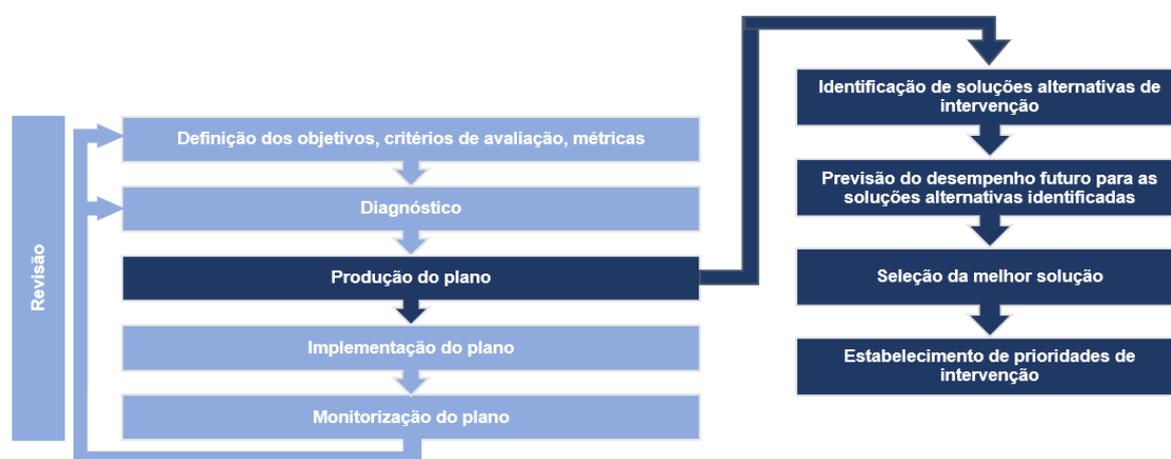


Figura 5 – Etapas da identificação e análise das alternativas de intervenção (Alegre e Covas, 2010; Almeida e Cardoso, 2010)

O plano de GPI contempla táticas infraestruturais, táticas de O&M e outras táticas não infraestruturais. A implementação do plano concretiza-se através da tradução das táticas em ações, o que implica o desenvolvimento e concretização de planos operacionais. Após implementação do plano, importa monitorizar o desempenho dos sistemas. Desta forma é possível identificar eventuais desvios às metas estabelecidas, bem como verificar o grau de implementação de cada uma das ações definidas, devendo as correções necessárias ser realizadas na fase de revisão do plano (Carriço, 2014).

2.2.3. PLANEAMENTO OPERACIONAL

O objetivo do planeamento operacional é especificar, programar e implementar as ações a efetuar na organização e na infraestrutura existente a curto prazo (i.e., 1 a 2 anos), definidas no planeamento tático. O processo de planeamento operacional é constituído pelas mesmas cinco passos apresentados na Figura 2. Porém, os objetivos e as metas operacionais não podem, em geral, ser expressas em termos de medidas de desempenho relativas à qualidade do serviço prestado ou à condição física da infraestrutura, mas antes em termos de realização das obras (ou de fases de obras). Assim, as ações resultantes do planeamento incluem o projeto, a construção e ajuste dos planos de operação e manutenção, onde se definem, entre outros aspetos, os locais exatos de intervenção, a cronologia de intervenção, e as tecnologias e os recursos humanos e materiais necessários para as concretizar (Alegre *et al.*, 2011; Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2014)

2.3. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO

As infraestruturas de abastecimentos de água têm associadas a si um determinado desempenho, quer sejam analisadas na totalidade como um só sistema, como várias zonas de controlo ou somente os seus componentes individuais.

A avaliação do desempenho é uma vertente nuclear no contexto da GPI, uma vez que torna possível realizar o diagnóstico da situação atual, identificando os principais problemas existentes. Também é possível prever o desempenho futuro das alternativas desenvolvidas face a futuros cenários, contribuindo para fundamentar a seleção das soluções a implementar. (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2014)

De um modo geral, as métricas de desempenho são a componente nuclear do sistema de avaliação de desempenho, podendo ser agrupadas em três categorias:

- **indicadores de desempenho (ID)**, que são medidas quantitativas de aspetos particulares do desempenho do sistema ou do serviço. Os ID são tipicamente expressos por rácios entre variáveis (dados do operador). Os principais componentes de um sistema de indicadores de desempenho são as variáveis necessárias ao seu cálculo, os indicadores propriamente ditos, incluindo a sua definição e regra de cálculo, e a informação de contexto indispensável a uma correta interpretação dos resultados obtidos na avaliação (Alegre, 2007).
- **índices de desempenho (PX)**, que são medidas mais agregadas que os indicadores de desempenho e resultam da combinação de medidas de desempenho elementares (e.g., indicadores de desempenho, níveis de desempenho) ou de instrumentos de análise (e.g., modelos de cálculo de eficiência de custos, modelos de simulação hidráulica). Quando se trabalha com um número reduzido de indicadores, a informação por estes traduzida é fácil de assimilar. No entanto, quando o número de indicadores é elevado e eles estão relacionados, pode ser mais vantajoso agregá-los num só índice (Carriço, 2014).
- **níveis de desempenho (ND)**, que são medidas de desempenho de natureza qualitativa expressas em categorias discretas (e.g., excelente, bom, insatisfatório). Em geral, são adotadas quando não é viável calcular medidas quantitativas (Sanina, 2010).

Um sistema de avaliação de desempenho é uma forma de representação da realidade, refletindo assim o desempenho das infraestruturas ou dos serviços. As métricas de desempenho, sejam indicadores, índices ou níveis, apoiam-se em dados relativos às variáveis a processar com vista ao cálculo dos resultados. Consequentemente, se a qualidade dos dados não for boa, os resultados dificilmente corresponderão à realidade (Sanina, 2010).

Em Portugal, as entidades gestoras devem utilizar o modelo de sistema de avaliação de desempenho elaborado pela ERSAR em colaboração com o LNEC. Estes indicadores, que já contam com uma terceira geração, seguem as recomendações da IWA (Alegre *et al.*, 2006), da Ação COST C18 (Alegre *et al.*, 2008; Sjøvold *et al.*, 2008) e das normas da família ISO 24500 (ISO 24510: 2007, ISO 24511: 2007 e ISO 24512: 2007), de acordo com as quais os sistemas de avaliação de desempenho devem ser constituídos por indicadores de desempenho (eventualmente complementados por índices de desempenho e por níveis de desempenho), por variáveis (i.e., dados usados no cálculo dos indicadores), por informação de contexto (i.e., informação sobre as aspetos que podem condicionar o valor dos indicadores utilizados, mas que não dependem de ações de gestão de curto prazo) e por fatores explicativos (i.e., indicadores, variáveis ou outros dados que ajudem a interpretar os valores dos indicadores e a identificar medidas de melhoria). Um sistema de avaliação de desempenho torna assim possível a avaliação e a comunicação do desempenho de uma infraestrutura, de um serviço prestado ou de uma entidade gestora (Sanina, 2010).

2.4. AVALIAÇÃO DO RISCO

O conceito de risco está muitas vezes associado a situações que podem levar a consequências negativas, sendo descuradas na grande maioria das vezes as consequências positivas (Carricho, 2014). Não existem infraestruturas 100% seguras pelo que é necessário quantificar os riscos correspondentes a cada opção de engenharia e de investimento, decidindo quais os riscos aceitáveis. Esta avaliação do risco permite também identificar quais os componentes das infraestruturas com maior exposição a riscos, permitindo assim dar a estes componentes mais críticos um tratamento preferencial no quadro do programa de GPI (Carricho, 2014).

O risco não deve ser eliminado, pois limitar-se-iam assim os benefícios, mas sim gerido a níveis aceitáveis (Alegre e Covas, 2010). A norma ISO 31000:2009 apresenta os princípios e as diretrizes para a gestão do risco. Esta norma descreve uma estrutura genérica para estabelecimento do contexto, identificação, análise, valoração, tratamento, monitorização, revisão e comunicação do risco. Na figura seguinte apresenta-se o processo para a gestão do risco de acordo com a norma ISO 31000:2009.

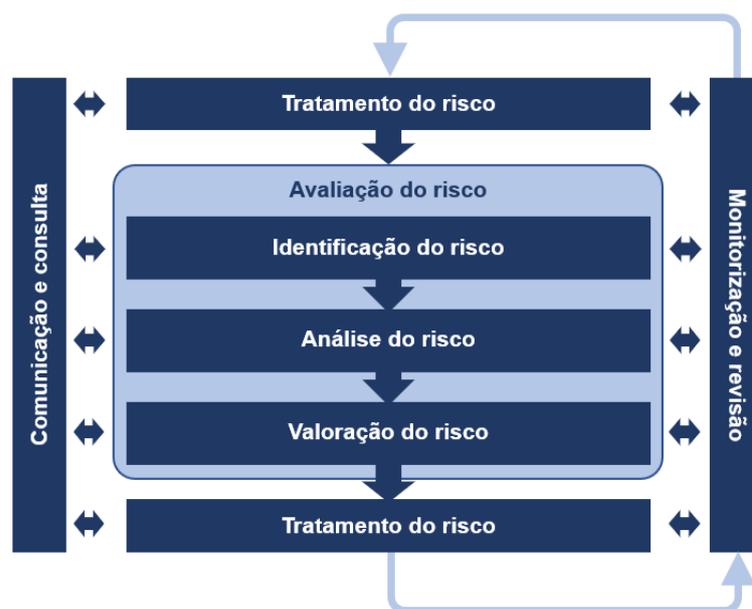


Figura 6 - Processo para a gestão do risco (ISO 31000: 2009)

A quantificação do risco em engenharia resulta da combinação entre as probabilidades associadas aos principais perigos (e.g., rotura em conduta, avaria em instalações elevatórias) e as respetivas consequências (e.g., reparação, interrupção de serviço, danos a terceiros) (Carricho, 2014):

$$R = P \times C \quad (1)$$

em que:

R – Risco;

P – Probabilidade;

C – Consequência;

A avaliação do risco aumenta a sua percepção e das respetivas causas, consequências e probabilidades. De um modo bastante simplista pode-se afirmar que a avaliação do risco consiste, apenas, em conhecer as respostas às seguintes três questões: O que pode falhar? Qual a probabilidade de ocorrência dessa falha? Quais as consequências dessa falha? A avaliação do risco é assim o processo global de identificação, de análise e de avaliação do risco (Carriço, 2014).

A identificação do risco é o processo de pesquisa, reconhecimento e descrição dos riscos associados ao funcionamento do sistema em estudo ou possíveis soluções a implementar. A identificação do risco envolve assim a identificação das fontes do risco, dos eventos, situações ou circunstâncias que poderiam ter um impacto material sobre os objetivos (do sistema ou da organização) e a natureza desse impacto (Carriço, 2014). Esta identificação do risco, realizada através do levantamento e tratamento de dados históricos, análises teóricas ou opiniões de pessoas informadas e especialistas, deve também considerar possíveis causas e cenários que mostrem quais as consequências que podem ocorrer. Além de se identificarem os riscos é importante que sejam identificados, também, os modos de falhas dos componentes críticos que podem conduzir ao agravamento das consequências de eventos (Carriço, 2014; NP ISO 31000, 2012).

A análise do risco é o processo de compreender a natureza do risco e determinar o nível que lhe está associado. Esta análise consiste na determinação das probabilidades e das consequências dos eventos identificados anteriormente, tendo em conta a presença e a eficácia de quaisquer controlos do risco existentes. As probabilidades e as consequências são, então, combinadas para determinar o nível do risco (Carriço, 2014; NP ISO 31000, 2012).

De seguida deve-se proceder á valoração do risco, onde se comparam os resultados da análise do risco com os critérios de aceitabilidade do risco e se determina se o risco ou a sua magnitude é aceitável ou tolerável. Com base nesta comparação, a necessidade de tratamento do risco pode ser considerada (NP ISO 31000, 2012).

O tratamento do risco consiste na modificação do risco através da seleção e implementação de opções de tratamento do risco. De um modo geral, o tratamento do risco envolve a adoção de estratégias que permitem evitar, remover, alterar a probabilidade, alterar as consequências, transferir ou reter o risco. A seleção destas opções implica a comparação

entre os custos e os esforços da sua implementação face aos benefícios resultantes. Em termos práticos, as estratégias de manutenção que permitem modificar o risco devem contemplar decisões sobre o momento em que os componentes devem ser substituídos, ou seja, se esta substituição deve acontecer antes da ocorrência de uma falha ou se é preferível operar até à falha (Carricho, 2014; NP ISO 31000, 2012).

2.5. AVALIAÇÃO DO CUSTO

No âmbito da GPI, a avaliação do custo tem dois objetivos principais (Alegre e Covas, 2010):

- estimar o valor atual da infraestrutura e dos seus componentes;
- determinar os custos globais correspondentes a diferentes alternativas de intervenção (associadas à reabilitação ou a outras obras).

No caso do primeiro objetivo, existem inúmeras técnicas disponíveis na literatura que permitem quantificar o valor atual da infraestrutura e dos seus componentes, sendo uma das técnicas mais usadas a análise custo-benefício.

No segundo caso, a avaliação dos custos globais de alternativas de intervenção pressupõe o cálculo do valor atualizado líquido dos diferentes componentes, neste caso também existem diversas técnicas para a sua quantificação (e.g., *whole life costing*, *life cycle cost*). Esta avaliação requer informação acerca das taxas de atualização e dos períodos de amortização

A comparação económica entre soluções alternativas, considerando todos os custos no ciclo de vida dos componentes, requer que se disponha de informação sobre as principais rubricas de custo referentes a cada uma das alternativas. Assim, é fundamental dispor de dados contabilísticos tais como custos totais ou custos unitários médios relativos a investimentos e a intervenções de manutenção curativa e preventiva e de reabilitação (ERSAR e LNEC, 2017).

3. METODOLOGIA

3.1. Nota introdutória

O objetivo do planeamento tático é a concretização das estratégias estabelecidas no planeamento estratégico, definindo a forma de as implementar sectorialmente e estabelecendo as táticas setoriais a adotar. Como visto no capítulo anterior, do plano estratégico resultam vários planos táticos, sendo um deles o plano de GPI. Este contém o planeamento das intervenções de reabilitação, pois é nesta área que se colocam dúvidas sobre o estabelecimento de prioridades e comparação de alternativas, uma vez que as expansões são obras de carácter imperativo e condicionadas por fatores de desenvolvimento externo (Alegre e Coelho, 2012; Alegre e Covas, 2010).

No presente capítulo apresenta-se a metodologia seguida na presente dissertação de mestrado para a elaboração de um plano tático de GPI.

3.2. DEFINIÇÃO DO HORIZONTE TEMPORAL

O processo de elaboração de um plano tático de GPI começa com a definição do horizonte temporal a que se refere. Ao contrário do plano estratégico, que apresenta um horizonte de longo prazo (10 a 20 anos), o plano tático tem um horizonte temporal de curto prazo (2 a 5 anos), de modo a garantir que a organização disponha sempre de um plano de médio prazo atualizado. Para além do horizonte temporal, deverão também ser definidos os horizontes de análise, onde se examina o impacto das intervenções a longo prazo. Esta definição deve ser feita de a forma que os horizontes de análise considerados a nível tático coincidam com os períodos de implementação estabelecidos no plano estratégico, conforme apresentado a título de exemplo no Quadro 3.

Quadro 3 - Horizonte temporal do plano tático

Tipo	Caracterização
Âmbito do plano	Planeamento tático de Gestão Patrimonial de Infraestruturas do Sistema de Abastecimento de Água
Horizonte de planeamento	Duração: 4 anos
	Aplicação: 2017/01/01 a 2020/12/31
Horizontes de análise	Para análise do impacto das intervenções a longo prazo em 2025, 2030, 2035

3.3. ALINHAMENTO COM O PLANEAMENTO ESTRATÉGICO

Do planeamento estratégico resultam linhas de atuação geral, denominadas estratégias. Estas estratégias têm em conta a visão e a missão da EG, traduzindo de um modo geral a forma como a EG pretende atingir objetivos e metas estabelecidos. No Quadro 4 são apresentadas, a título de exemplo, algumas estratégias consideradas no planeamento estratégico de sistemas de abastecimento de água.

Quadro 4 – Exemplo de estratégias

Estratégia	Descrição
E1	Assegurar os requisitos de pressão em todos os pontos de consumo
E2	Melhorar valor infraestrutural
E3	Garantir a eficiência na utilização dos recursos hídricos disponíveis

Estas estratégias estão na origem dos objetivos táticos, conforme apresentado no subcapítulo seguinte.

3.4. OBJETIVOS TÁTICOS

Os objetivos táticos traduzem os objetivos estratégicos em objetivos sectoriais, definindo assim os recursos necessários para alcançar os níveis de desempenho desejados. Deverão ser concretos, alcançáveis e mensuráveis de modo a que a EG possa monitorizar o progresso conseguido e, caso se demonstre necessário, introduzir as alterações adequadas (Alegre e Covas, 2010; Almeida e Cardoso, 2010; Carriço, 2014).

A definição dos objetivos táticos tem como ponto de partida os objetivos estratégicos. Deve ser seguida a metodologia recomendada nos guias técnicos da ERSAR ao nível estratégico para que as estratégias adotadas correspondam a uma discretização dos objetivos estratégicos nos principais aspetos a contemplar. Assim, a definição dos objetivos táticos deverá ser realizada através da associação direta de um ou mais objetivos com a respetiva estratégia definida ao nível estratégico. Desta forma simplifica-se o processo de articulação entre níveis de planeamento e garante-se o alinhamento dos objetivos a nível tático e estratégico.

No Quadro 5 apresenta-se, a título exemplificativo, os objetivos táticos definidos e respetivos alinhamentos com as estratégias definidas a nível estratégico.

Quadro 5 – Exemplo de objetivos táticos

Objetivo T1: garantir o cumprimento dos requisitos de pressão em todos os pontos de consumo

Descrição do objetivo: garantir que em todos os pontos de entrega a pressão cumpre o nível requerido.

Alinhamento com a estratégia E1: assegurar os requisitos de pressão em todos os pontos de consumo

Objetivo T2: assegurar a sustentabilidade e a integridade infraestrutural

Descrição do objetivo: garantir que todo o sistema infraestrutural mantém o seu valor e qualidade para as gerações futuras.

Alinhamento com a estratégia E2: melhorar o valor infraestrutural

Objetivo T3: promover o uso eficiente da água

Descrição do objetivo: garantir a eficiência na utilização dos recursos hídricos disponíveis, através da redução das perdas reais.

Alinhamento com a estratégia E3: garantir a eficiência na utilização dos recursos hídricos disponíveis

3.5. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Para cada objetivo tático deverão ser definidos critérios de avaliação. Estes critérios são os aspetos ou perspetivas que permitam avaliar o cumprimento dos objetivos, sendo adaptados à realidade dos sistemas em causa.

No Quadro 6 são exemplificados alguns critérios em harmonia com os respetivos objetivos táticos definidos no subcapítulo anterior.

Quadro 6 - Exemplos de critérios de avaliação

Objetivos táticos	Critérios de avaliação
Objetivo T1: Garantir o cumprimento dos requisitos de pressão em todos os pontos de consumo	Critério T1.1: Adequação das pressões mínimas
	Critério T1.2: Adequação das pressões máximas
Objetivo T2: Assegurar a sustentabilidade e a integridade infraestrutural	Critério T2.1: Adequação da sustentabilidade infraestrutural
	Critério T2.2: Adequação da integridade infraestrutural
Objetivo T3: Promover o uso eficiente da água	Critério T3.1: Adequação dos níveis de perdas reais

Estes critérios de avaliação são os alicerces sob os quais vão ser construídas as métricas que permitem avaliar e comparar o cumprimento dos objetivos, conforme apresentado no subcapítulo 3.5.

3.6. MÉTRICAS

Associados aos diferentes critérios de avaliação, desenvolvem-se as respetivas métricas, por forma a avaliar o desempenho e cumprimento dos respetivos objetivos táticos. Estas métricas deverão incorporar as três dimensões da análise (i.e., o desempenho, o risco e o custo) e ser tão objetivas e quantificáveis quanto possível. Como visto no subcapítulo 2.3, as métricas podem ser agrupadas em três categorias (cf. Quadro 7).

Quadro 7 – Categorias das medidas de desempenho (Alegre e Covas, 2010)

Indicadores de desempenho (ID)	Medidas quantitativas de eficiência ou de eficácia dos aspetos particulares de desempenho da atividade de uma entidade gestora.
Níveis de desempenho (ND)	Medidas de desempenho de natureza qualitativa, expressas em categorias discretas (e.g., excelente, bom, insatisfatório) e utilizadas quando não é viável calcular medidas quantitativas.
Índices de desempenho (PX)	Medidas destinadas a sintetizar várias perspetivas numa única medida. Resultam da combinação dos indicadores de desempenho ou níveis de desempenho ou ainda da aplicação de instrumentos de análise (e.g., modelos de simulação hidráulica).

Os ID permitem quantificar e avaliar a eficiência e a eficácia dos aspetos relacionados com a atividade da EG, sendo por isso a principal métrica de desempenho utilizada no planeamento de sistemas de abastecimento de água. No Quadro 7 é exemplificado um dos ID utilizado na

avaliação do desempenho de sistemas de abastecimento de água, alinhado com um dos critérios de avaliação atrás exemplificados.

Quadro 8 – Exemplo de indicador de desempenho de sustentabilidade infraestrutural (ERSAR e LNEC, 2017)

AA10ab: Reabilitação de condutas (%/ano)	
Descrição da métrica	Percentagem média anual de condutas de adução e distribuição com mais de dez anos que foram reabilitadas nos últimos cinco anos.
Fórmula de cálculo	$AA10ab = dAA32ab / dAA31ab \times 100 / 5$
Variáveis	dAA31ab – Comprimento médio de condutas (km)
	dAA32ab – Condutas reabilitadas nos últimos cinco anos (km)
Valores de referência	Para sistemas em Alta e Baixa
	Qualidade do serviço boa [1.00 , 4.00]
	Qualidade do serviço mediana]0.80 , 1.00[
	Qualidade do serviço insatisfatória]0.00 , 0.80[
Alinhado com critério	Critério T2.1: Adequação da sustentabilidade infraestrutural

3.7. DIAGNÓSTICO TÁTICO

O diagnóstico tático consiste na análise do sistema urbano de água em estudo permitindo desta forma identificar as disfunções que denunciem a existência de anomalias que afetam ou que poderão vir a afetar o correto funcionamento do sistema. Permite também prever a evolução a médio e a longo prazo das solicitações de serviço e da degradação por envelhecimento dos componentes (Alegre e Covas, 2010; Carriço, 2014). A realização do diagnóstico tático pode ser sistematizada em duas fases (Carriço, 2014):

- **identificação, recolha e avaliação da informação**, onde se avalia a disponibilidade e a viabilidade dos dados para caracterizar o sistema;
- **avaliação do desempenho, do custo e do risco** associado ao sistema, onde se faz a comparação do desempenho observado com os valores de referência e se definem as metas de desempenho pretendidas.

3.7.1. IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA INFORMAÇÃO

A primeira fase do diagnóstico consiste na identificação e avaliação da informação necessária para se proceder à caracterização do sistema e consequente identificação de possíveis anomalias. A informação deverá ser necessária e suficiente para suportar a avaliação do

desempenho do sistema através do cálculo das métricas previamente estabelecidas. Desta forma, os principais tipos de informação envolvidos são (Alegre *et al.*, 2010):

- características físicas dos componentes do sistema (i.e., dados de cadastro);
- informação operacional sobre falhas, reparações, estado de conservação ou registos de inspeções e de intervenções de manutenção;
- informação sobre solicitações de consumo de água (i.e., padrões de consumo) relativos à situação atual e às previsões de evolução;
- informação operacional sobre o modo de funcionamento do sistema;
- dados contabilísticos relativos a investimentos e intervenções de manutenção e reabilitação.

Tendo identificado a informação necessária procede-se à avaliação da mesma de forma a classificar a fiabilidade e exatidão dos dados recolhidos para que não comprometam a análise do sistema. A fiabilidade pode ser classificada em três categorias específicas, consoante o grau de confiança dos dados. No Quadro 9 estão representadas as três categorias de fiabilidade assim como a respetiva descrição (Alegre e Covas, 2010; Almeida e Cardoso, 2010; Carriço, 2014).

Quadro 9 - Bandas de fiabilidade da fonte de informação (Alegre e Covas, 2010)

Banda de fiabilidade da fonte de informação	Conceito associado
*	Dados baseados em estimativas ou extrapolações a partir de uma amostra limitada.
**	Genericamente como a anterior, mas com algumas falhas não significativas nos dados, tais como parte da documentação estar em falta, os cálculos serem antigos, ou ter-se confiado em registos não confirmados, ou ainda terem-se incluído alguns dados por extrapolação.
***	Dados baseados em medições exaustivas, registos fidedignos, procedimentos, investigações ou análises adequadamente documentadas e reconhecidas como o melhor método de cálculo.

Paralelamente à avaliação da informação deve ser feita a identificação das lacunas detetadas na informação e as respetivas causas, permitindo assim a elaboração de recomendações à EG quanto à forma de proceder à recolha, ao arquivo e à atualização da informação existente e em falta. No Quadro 10 está representado, a título exemplificativo, uma possível classificação da informação.

Quadro 10 – Possível avaliação da informação

Tipo de informação	Origem	Fiabilidade	Existência de lacunas	Descrição das principais lacunas
Informação de cadastro	Sistema de Informação Geográfica	* *	✓	Índice de conhecimento infraestrutural de 90%
Informação sobre solicitações	Telegestão	* *	✓	Sistema de telegestão com falhas no registo de dados

3.7.2. MODELAÇÃO HIDRÁULICA

O comportamento de um sistema, e as suas deficiências, não são facilmente perceptíveis de forma direta. Muitas vezes os utilizadores ou a EG apercebem-se de que algo não está bem através de sinais tais como a falta de pressão, a falta de água, elevados volumes de perdas, surgimento de água à superfície do solo, coloração ou turvação da água. Dado que as redes de distribuição de água são tipicamente infraestruturas enterradas, a caracterização e o diagnóstico detalhado da situação por inspeção direta são demasiado onerosos, o que leva à necessidade de instrumentos de apoio baseados em modelação e análise. Também na construção de sistemas novos, dado o elevado custo das infraestruturas e a grande variabilidade das condições de projeto, existe uma forte necessidade de apuramento e verificação das soluções preconizadas através de modelos de simulação hidráulica (Coelho *et al.*, 2006).

Os modelos de simulação são assim ferramentas que permitem, com uma margem de erro estimável, analisar e prever o comportamento hidráulico do sistema, a partir das características dos seus componentes, da sua forma de operação e dos consumos solicitados. Os modelos permitem assim a rápida e eficaz realização de análises de sensibilidade e a simulação dos cenários mais variados, com suficiente aproximação, sem ser necessário interferir com o sistema em causa ou arriscá-lo a modos de operação desconhecidos (Coelho *et al.*, 2006).

No contexto da GPI, torna-se necessário desenvolver e manter um modelo de simulação hidráulica que permita analisar o comportamento da rede face às solicitações de consumo, caracterizadas através de um padrão de consumo, bem como identificar possíveis disfunções e, para estas, desenvolver e testar possíveis soluções. A partir deste modelo de simulação hidráulica também deverá ser possível calcular o conjunto de indicadores de desempenho.

3.7.3. AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

Depois de identificada e avaliada a informação necessária e disponível, procede-se à segunda fase, na qual se pretende avaliar o estado atual do sistema.

A avaliação do sistema atual constitui um meio de quantificar, de uma forma objetiva as potencialidades e as deficiências dos sistemas, constituindo assim um suporte para a adoção de medidas corretivas de reabilitação, para além de permitir estabelecer comparações independentes e em base normalizada. Desta forma, constitui um instrumento que permite apoiar a identificação de necessidades de reabilitação, a seleção de estratégias e opções de reabilitação e de prioridades de investimento, assim como a seleção de novos projetos (Cardoso, 2008).

A avaliação do estado atual do sistema é realizada através do cômputo das métricas previamente estabelecidas e posterior comparação com os respetivos valores de referência.

3.7.4. DEFINIÇÃO DAS METAS

Com base nos resultados obtidos para a situação de referência, nos requisitos legais, contratuais ou regulamentares existentes e considerando o plano de investimentos a médio prazo (i.e., capacidade real de intervir, em termos dos recursos disponíveis ou disponibilizáveis) estabelecem-se as metas que a EG pretende atingir para o ano horizonte do plano tático e para o ano horizonte do plano estratégico.

3.8. ESTABELECIMENTO DE CENÁRIOS PARA O FUTURO

A atividade dos serviços de abastecimento de água é influenciada por fatores externos de natureza política, normativo-legal, económico-social, demográfica, tecnológica e ambiental. Um processo de decisão, em GPI, para ser bem-sucedido deve ter em conta os fatores externos mais relevantes. Um cenário pode ser assim definido como uma possível trajetória (desejável ou indesejável) resultante de um conjunto de fatores condicionantes não controláveis pelo decisor. A consideração na análise de cenários permite assim lidar com a incerteza acerca do futuro, tanto a nível de evolução de consumos como a nível da configuração e gestão do sistema de abastecimento de água. O estabelecimento de cenários para o futuro é, assim, de grande importância para o processo de decisão nos serviços de água (Carricho, 2014). De seguida são apresentados, a título de exemplo, dois possíveis cenários a serem considerados na análise de sistemas de abastecimento de água:

- cenários de evolução da população – o dimensionamento das infraestruturas de abastecimento de água depende da definição de caudais que, por sua vez, são em função da população a servir. O estabelecimento de cenários, através de registos de evolução demográfica e de consumos, permite lidar com a incerteza relacionada com a evolução dos consumos;
- cenários decorrentes de alterações climáticas – o ciclo urbano de água é influenciado pelas alterações climáticas, afetando as disponibilidades de água na origem e inflacionando os consumos.

3.9. PRODUÇÃO DO PLANO

Uma vez efetuado o diagnóstico da situação de referência procede-se à identificação, desenvolvimento e análise de alternativas de intervenção que permitam solucionar ou mitigar os problemas identificados na fase de diagnóstico, bem como cumprir com as metas e os requisitos estabelecidos.

Uma alternativa de intervenção é qualquer procedimento de carácter estrutural (e.g., reabilitação de condutas), de operação (e.g., alteração de esquemas de operação de uma estação elevatória) ou de manutenção (e.g., substituição de uma bomba numa estação elevatória) realizado sobre a infraestrutura urbana de água. Cabe ao decisor da EG equacionar alternativas de intervenção com potencial para melhorar o desempenho do sistema.

Para além das alternativas de intervenção desenvolvidas deverá ser também analisada a alternativa de *statu quo*. Ainda que esta alternativa possa ser, na maioria das situações, uma solução totalmente insatisfatória, esta deverá ser sempre considerada como alternativa de referência, avaliada e comparada com as restantes alternativas, por forma a ter uma melhor perceção da melhoria conseguida com a implementação das mesmas.

São apresentadas de seguida algumas alternativas de intervenção, a título de exemplo, que visam a resolução de um problema hipotético de incumprimento de pressões mínimas num sistema de abastecimento de água (Alegre e Covas, 2010):

A₀: manter a situação *statu quo*;

A₁: alteração dos limites dos andares de pressão, com ligação da zona problemática a um andar de pressão superior;

A₂: instalação de um grupo sobrepessor na zona problemática;

A₃: aumento da pressão de regulação a jusante de válvula redutora de pressão.

Definidas as alternativas de intervenção procede-se à avaliação da sua viabilidade técnica e económica, através do cômputo das métricas e posterior comparação com as metas estabelecidas. Esta análise não deverá confinar-se ao horizonte do plano tático (i.e., 3 a 5

anos), devendo também contemplar uma previsão de longo prazo (i.e., 10 a 20 anos) da evolução da área em análise e do correspondente desempenho das infraestruturas existentes.

A escolha da melhor alternativa de intervenção é um problema de decisão multicritério, onde as alternativas têm que ser comparadas entre si de forma a decidir a melhor solução, ou seja, a alternativa que garante o melhor equilíbrio entre desempenho, risco e custo (Alegre *et al.*, 2011).

No âmbito do projeto de investigação europeu AWARE-P, que decorreu entre 2009 e 2011, foi implementado um método de agregação multicritério, designado por *AWARE Plan*, que pretende ordenar as alternativas de intervenção consideradas em problemas de decisão em GPI (Alegre, 2012; Alegre *et al.*, 2011).

Este método de agregação trata-se de uma versão modificada do método da soma ponderada, onde cada uma das alternativas de intervenção é pontuada com um valor numérico resultante da soma do resultado das métricas consideradas. As principais diferenças entre o método *AWARE Plan* e o da soma ponderada residem no modo de normalização das métricas e de atribuição dos coeficientes de ponderação. Neste método a normalização é efetuada considerando uma escala que varia entre 0 e 3, em que 0 corresponde ao pior valor da métrica e o valor 3 corresponde ao melhor. A conversão das escalas pode ser não linear entre 0 e 3 mas trilinear, sendo definida pelo utilizador através de intervalos de referência associados a um código de três cores (verde, amarelo e vermelho) como ilustrado na Figura 7 (Carriço, 2014).



Figura 7 - Exemplo de definição da escala da normalização da métrica no método AWARE Plan

A cada cor está associada um intervalo da escala normalizada, ou seja, a cor verde está associada ao intervalo de 2 a 3, a cor amarela ao intervalo de 1 a 2 e a vermelha ao intervalo de 0 a 1. O principal objetivo da utilização destas três cores é que o analista com o apoio do decisor associe classes qualitativas (i.e., bom, satisfatório e insatisfatório) às respetivas cores (i.e., verde, amarelo e vermelho).

O método *AWARE Plan* prevê também a atribuição de coeficientes de ponderação às diferentes métricas (i.e., importância relativa traduzida por pesos atribuídos às métricas pelos técnicos da EG). Os coeficientes de ponderação para cada métrica devem ser definidos de acordo com a seguinte escala constituída por cinco classes: *very low* (0,50); *low* (0,75); *medium* (1,0); *high* (1,5) e *very high* (2,0) (Carriço, 2014).

Com base neste método de análise multicritério é possível comparar as alternativas de intervenção com o fim de selecionar a alternativa que apresenta o melhor equilíbrio entre desempenho, risco e custo, e respetivos compromissos, tendo em conta os objetivos definidos (Alegre *et al.*, 2011).

3.10. IMPLEMENTAÇÃO, MONITORIZAÇÃO E REVISÃO DO PLANO

Após a avaliação comparativa das soluções, pode-se proceder à seleção das opções a implementar e à elaboração dos planos de ação correspondentes.

Os planos de ação atrás descritos contemplam táticas infraestruturais, táticas de operação e manutenção e outras táticas não infraestruturais. A implementação do plano tático diz respeito à tradução das táticas em planos de ação (Alegre *et al.*, 2010).

Assim, após implementado o plano procede-se à monitorização do mesmo. Nesta fase deverão ser identificados eventuais desvios às metas estabelecidas assim como avaliado o grau de implementação de cada uma das ações definidas. As correções ao sistema que sejam necessárias são realizadas na fase de revisão do plano.

O presente trabalho incide sobre as etapas da definição de objetivos, critérios e métricas, diagnóstico e produção do plano. Será dado especial ênfase às fases da elaboração do diagnóstico e da avaliação comparativa de soluções com potencial para melhorar o funcionamento do sistema.

4. CASO DE ESTUDO

4.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

O caso de estudo utilizado no âmbito do presente trabalho foi fornecido pela Câmara Municipal do Barreiro (CMB) e que devido ao seu interesse na realização do plano tático de GPI acompanhou o seu desenvolvimento na qualidade de Entidade Gestora (EG).

O abastecimento de água ao concelho do Barreiro encontra-se dividido em três sectores, o Sector Norte (SN), o Sector Central (SC) e o Sector Sul (SS) e cada um destes subdivide-se em diferentes zonas de abastecimento: Alta (A), Média (M) e Baixa (B). Na Figura 8 apresenta-se o enquadramento geográfico, bem como a designação adotada pela CMB para as diferentes zonas de abastecimento.

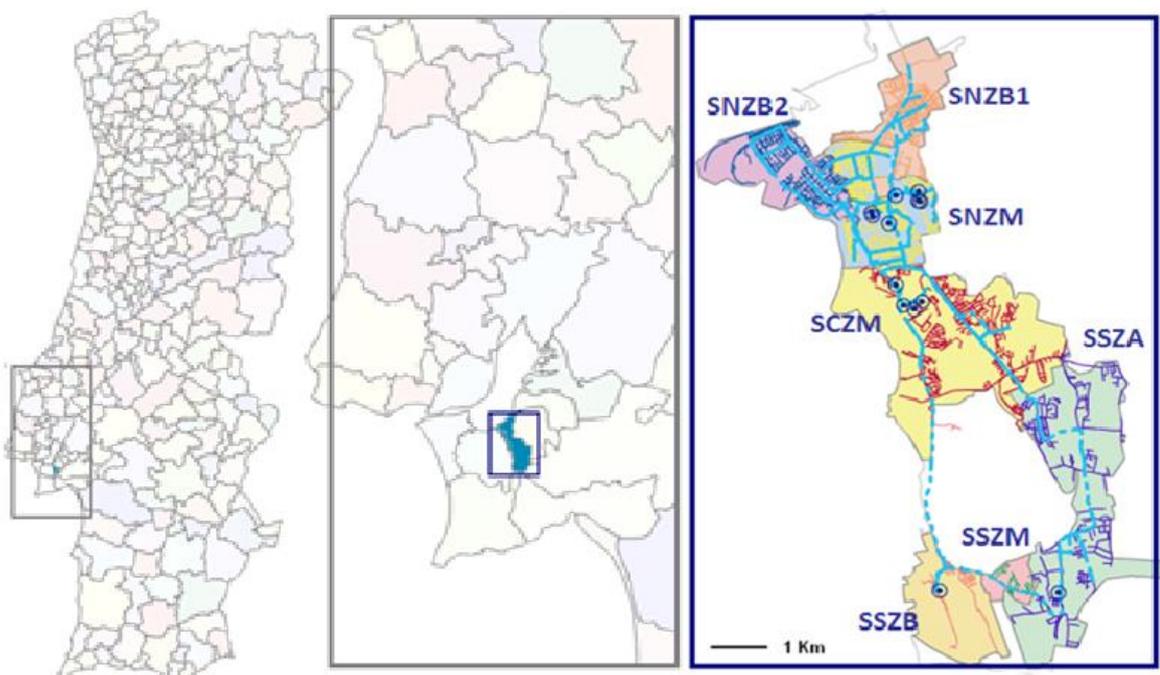


Figura 8 – Enquadramento geográfico do caso do estudo

O caso de estudo no âmbito do presente trabalho é uma zona de abastecimento, nomeadamente, a SNZB1, sendo esta caracterizada no subcapítulo seguinte.

4.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ZONA EM ESTUDO

A zona de abastecimento SNZB1 está localizada na parte norte do concelho do Barreiro, nomeadamente no Lavradio. O sistema de abastecimento serve uma zona maioritariamente urbana, com cerca de 14450 habitantes (≈ 3610 hab./km²) numa área urbanística heterogénea com cerca de 4km² de território, englobando moradias unifamiliares e edifícios residenciais até onze pisos, um complexo fabril adjacente, um hospital central, um cemitério e algum pequeno comércio. O abastecimento de água à zona foi iniciado no final da década de 1950, servindo à época apenas os aglomerados habitacionais mais densos. Posteriormente, expandiu-se gradualmente de acordo com as possibilidades da EG, com as necessidades dos munícipes e com as operações urbanísticas que no decorrer dos anos se executaram na zona. Em dezembro de 2016, o número de clientes ativos registados pela EG era de 5248 (2,53 cliente/ramal domiciliário), dos quais 4820 eram clientes domésticos, 384 eram clientes não-domésticos (comércio, autarquias e estado), 19 eram instituições e 25 eram consumos próprios da EG.

Atualmente, a água é captada a partir de cinco furos cujo funcionamento é alternado. Na captação a água recebe tratamento de desinfecção com injeção de hipoclorito de cloro nas condutas adutoras que ligam as captações aos dois reservatórios apoiados localizados no Alto da Paiva, junto ao Centro Hospitalar Barreiro-Montijo. A partir destes, a água é elevada por bombagem para a rede de distribuição, que também inclui trechos com função de adução. O comprimento total da rede é de aproximadamente 35 km, com 5 km com função de adução e 30 km de distribuição.

Na Figura 9 apresenta-se a configuração da rede inserida no respetivo meio urbano, estando representada a traço vermelho as condutas com função de adução e a traço amarelo as que têm função de distribuição. A rede tem uma configuração emalhada e conforme referido, para além das condutas distribuidoras, tem trechos de condutas adutoras e de adutoras distribuidoras e por isso será doravante designada genericamente como rede.



Figura 9 - Configuração da rede no meio urbano

Tratando-se de um sistema de abastecimento com mais de 60 anos é expectável que a distribuição dos materiais seja heterogénea, composta por condutas ainda do sistema original, condutas instaladas em expansões da rede ou ainda de substituições efetuadas na rede. Na Figura 10 apresenta-se a repartição dos materiais constituintes da rede.

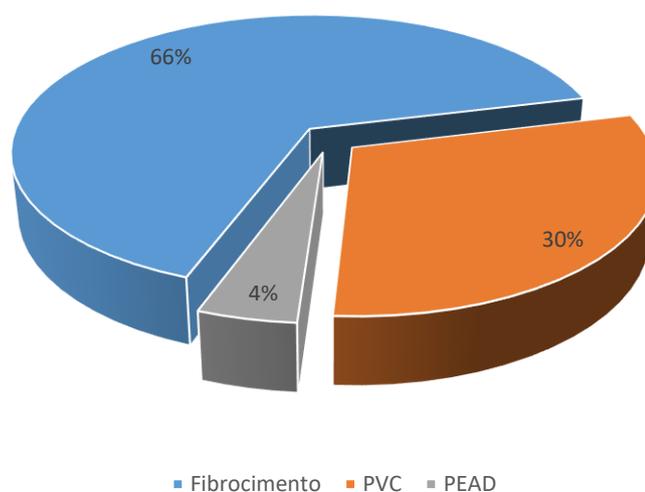


Figura 10 - Materiais constituintes da rede

Constata-se através da Figura 10 que a rede é constituída essencialmente por três materiais, ou seja, fibrocimento, policloreto de vinilo (PVC) e polietileno de alta densidade (PEAD), sendo o material predominante o fibrocimento ($\approx 66\%$). Estas condutas de fibrocimento foram maioritariamente instaladas em 1959 e ainda não foram alvo de reabilitação.

Na Figura 11 pode-se consultar o ano de instalação por tipo de material das condutas com função de distribuição.

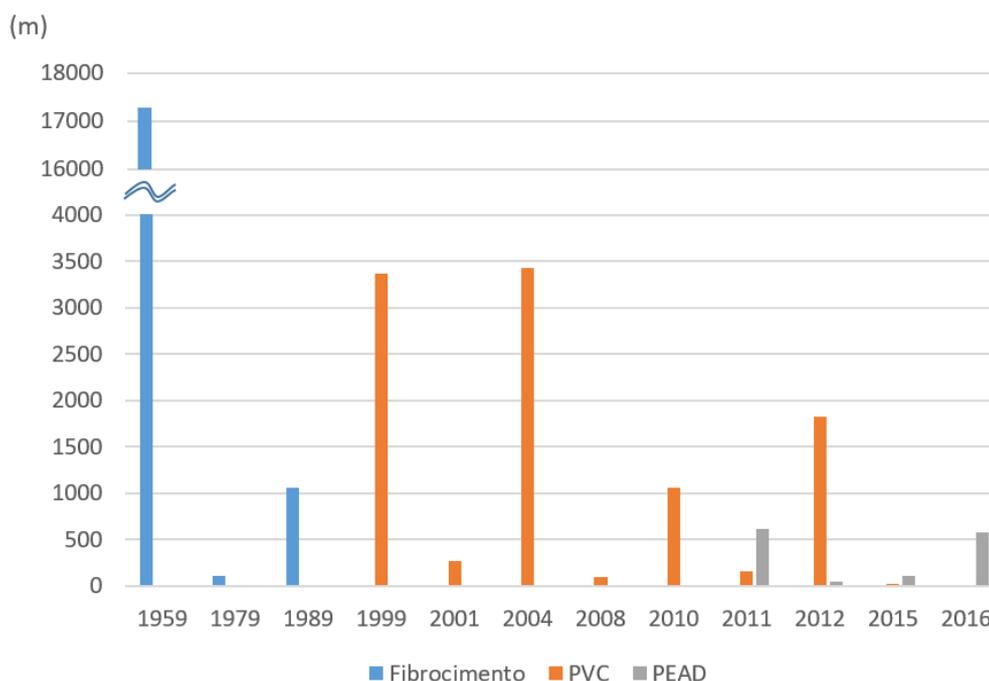


Figura 11 - Ano de instalação por material das condutas de distribuição

A partir da Figura 11 pode-se concluir que a grande maioria das condutas de distribuição ($\approx 57,5\%$) pertence à infraestrutura original instalada em 1959, construída em fibrocimento. O recurso a este material foi apenas descontinuado após as obras de expansão da rede, em 1989. A partir de 1999 começou a ser utilizado o PVC tanto nas obras de expansão como nas obras de reabilitação, tendo esta prática sido mantida até aos dias de hoje aliada ao recurso de novos materiais, como o PEAD.

No caso das condutas com função de adução, o panorama não é diferente, predominando as condutas em fibrocimento originárias da infraestrutura original. Na Figura 12 pode ser consultado o ano de instalação por material das condutas de adução.

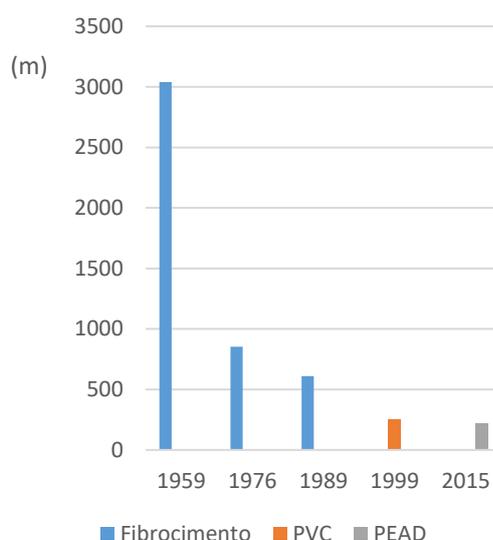


Figura 12 - Ano de instalação por material das condutas de adução

Com base na análise da Figura 12, conclui-se que a grande maioria das condutas adutoras pertence à infraestrutura original instalada em 1959, construída em fibrocimento. As obras de expansão efetuadas em 1976 e em 1989 foram também realizadas com recurso a este material, o que resulta numa larga prevalência deste material (i.e., cerca de 90%). À semelhança das condutas de distribuição, também aqui começou a ser utilizado o PVC, a partir de 1999 e mais recentemente o PEAD.

4.3. DEFINIÇÃO DO HORIZONTE TEMPORAL

Em 2015, alguns técnicos do Departamento de Águas e Resíduos (DAR) da Câmara Municipal do Barreiro (CMB) participaram na segunda Iniciativa Nacional para a Gestão Patrimonial de Infraestruturas (iGPI) promovida pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), pelo Instituto Superior Técnico (IST) e pela Addition, Lda. Da participação na iGPI, os técnicos da CMB desenvolveram o Plano Estratégico de GPI para o horizonte temporal de 20 anos (2015 – 2035), com análises de impacto quinquenais (2020, 2025, 2030, 2035).

No âmbito do presente trabalho optou-se por respeitar os períodos de análise de modo a estar alinhado com o Plano Estratégico existente e como tal o horizonte temporal do plano tático é de 3 anos, ou seja, com aplicação de 2018 a 2020 (cf. Quadro 11). Os dados de análise foram cedidos pela CMB e referem-se essencialmente ao ano de 2016.

Quadro 11 - Horizonte temporal do plano tático

Tipo	Caracterização
Âmbito do plano	Planeamento tático de Gestão Patrimonial de Infraestruturas do Sistema de Abastecimento de Água do Lavradio
Horizonte de planeamento	Duração: 3 anos
	Aplicação: 2018/01/01 a 2020/12/31
Horizontes de análise	Para análise do impacto das intervenções a longo prazo em 2025, 2030, 2035

4.4. ALINHAMENTO COM O PLANEAMENTO ESTRATÉGICO

Como referido anteriormente, o processo de planeamento em GPI encontra-se organizado em três níveis de decisão e a cada um destes níveis de decisão estão associados planos distintos com diferentes horizontes temporais. Os planos com horizontes temporais mais curtos devem estar alinhados com os do nível superior, ou seja, o plano tático deve estar alinhado com o estratégico.

A partir dos objetivos estratégicos e respetivos critérios de avaliação foram definidas as estratégias de longo prazo. Estas definem genericamente a forma como a EG pretende atingir os objetivos estabelecidos e respetivas metas. No plano estratégico da CMB encontram-se definidas quatro estratégias que se apresentam no Quadro 12.

Quadro 12 – Estratégias definidas no plano estratégico de GPI (CMB, 2015)

Estratégia	Descrição
E1	Melhorar o valor infraestrutural
E2	Diminuir as perdas
E3	Melhorar a manutenção preventiva
E4	Melhorar a gestão económica e promover a obtenção de fundos

4.5. OBJETIVOS TÁTICOS

O objetivo do planeamento tático é materializar as estratégias estabelecidas no planeamento estratégico, definindo a forma de as implementar sectorialmente. Para além disso, os objetivos táticos devem estar alinhados com os objetivos estratégicos, deverão ser pragmáticos, mensuráveis e compatíveis entre si (Alegre e Covas, 2010).

Assim, a definição dos objetivos táticos foi efetuada através de associação direta de cada estratégia com um objetivo tático. Desta forma, são definidos os recursos necessários para alcançar os níveis de desempenho desejados, garantindo-se o alinhamento dos objetivos a nível tático e estratégico. Os objetivos táticos considerados e os respetivos alinhamentos com as estratégias são apresentados no Quadro 13.

Quadro 13 - Objetivos táticos e respetivo alinhamento com o nível estratégico

Objetivo Tático 1: atingir um valor infraestrutural adequado

Descrição do objetivo: promover/instituir a reabilitação anual otimizada das infraestruturas, por forma a, não só, aumentar o seu valor, mas também, minimizar as ineficiências dos sistemas.

Alinhamento com a estratégia E1: melhorar o valor infraestrutural

Objetivo Tático 2: atingir um nível de perdas e consumo de energia adequado

Descrição do objetivo: promover a gestão de perdas de água, de forma a reduzir as mesmas, bem como os recursos e os custos a estas associados.

Alinhamento com a estratégia E2: diminuir as perdas

Objetivo Tático 3: promover a manutenção adequada do sistema

Descrição do objetivo: promover a manutenção preventiva das infraestruturas e a implementação dos respetivos planos, melhorando as atuais práticas de natureza mais reativa.

Alinhamento com a estratégia E3: melhorar a manutenção preventiva

Objetivo Tático 4: promover a gestão económica e a obtenção de fundos

Descrição do objetivo: implementar a gestão económica dos serviços e promover o acesso a fundos comunitários do novo quadro.

Alinhamento com a estratégia E4: melhorar a gestão económica e promover a obtenção de fundos

4.6. CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Para cada objetivo estabelecido, a EG deve definir critérios de avaliação, métricas e metas, de modo a que seja possível a avaliação concreta do seu cumprimento. Assim, para cada um dos objetivos táticos, a CMB definiu os critérios de avaliação que se apresentam no Quadro 14.

Quadro 14 - Critérios de avaliação

Objetivos táticos	Critérios de avaliação
Objetivo Tático 1: atingir um valor infraestrutural adequado	Critério 1.1: adequação do valor infraestrutural
	Critério 1.2: adequação do nível de reabilitação
Objetivo Tático 2: atingir um nível de perdas e eficiência energética adequados	Critério 2.1: minimização do nível de perdas reais
	Critério 2.2: adequação do controlo da medição de consumos
	Critério 2.3: otimização do nível de pressão na rede
	Critério 2.4: minimização do consumo de energia
Objetivo Tático 3: promover a manutenção, a segurança e a resiliência dos sistemas	Critério 3.1: minimização do risco de falhas e avarias
	Critério 3.2: Adequação do nível de reclamações relativas à prestação do serviço
Objetivo Tático 4: promover a gestão económica dos serviços e promover a obtenção de fundos comunitários	Critério 4.1: minimização do nível de custos operacionais
	Critério 4.2: adequação das receitas aos investimentos em reabilitação

4.7. MÉTRICAS

As métricas são variáveis específicas que permitem caracterizar o desempenho, o custo e o risco de forma quantitativa ou qualitativa e estão associadas aos diferentes critérios de avaliação. No presente caso de estudo, foram consideradas catorze métricas das três dimensões da análise, ou seja, de desempenho, custo e risco. Uma métrica de avaliação, para que possa ser utilizada, tem de ter associada valores de referência indicativas da respetiva

qualidade de serviço. No caso do presente trabalho serão utilizadas três classes de qualidade serviço, nomeadamente, boa, mediana e insatisfatória. De modo a evidenciar cada uma das classes referidas serão associadas as cores verde, amarela e vermelha, respetivamente.

O estabelecimento das métricas de avaliação deve ser efetuado de modo a obter um resultado consensual entre os vários intervenientes no processo de planeamento da GPI.

Quando são considerados cenários na análise, as métricas devem ser avaliadas para o período de análise estabelecido. Estes cenários vão-se refletir nas variáveis utilizadas para o cálculo das métricas e, por isso, estas métricas deverão ser determinadas para os vários cenários e para os vários instantes temporais estabelecidos.

No Quadro 15 apresentam-se as métricas consideradas juntamente com os valores de referência e as respetivas descrições. No capítulo 4.8.4 são apresentadas as fórmulas de cálculo para cada uma das métricas consideradas.

Quadro 15 – Métricas de avaliação consideradas

Métrica	Dimensão	Alinhamento com critério	Designação	Descrição	Qualidade de serviço		
					Boa	Mediana	Insatisfatória
D1	Desempenho	1.1	Índice de Valor Infraestrutural da Rede	Índice do Valor Infraestrutural das redes de infraestruturas (% do valor “remanescente”)	[1,00; 0,55]	]0,55; 0,40]	]0,40; 0,00]
D2	Desempenho	1.2	Reabilitação da Rede	Percentagem de rede reabilitada no ano	[4,00; 1,00]	]1,00; 0,80]	]0,80; 0,00]
D3	Desempenho	2.1	Perdas reais de água em ramais	Volume de perdas reais por ramal.	[0; 100]	]100; 150]	]150; +∞ [
D4	Desempenho	2.1	Ineficiência na Utilização dos recursos Hídricos	Percentagem de água captada que é perda real	[0,00; 12,00]	]12,00; 20,00]	]20,00; 100,00]
D5	Desempenho	2.2	Água não medida	Percentagem da água fornecida à área de análise que não é medida	[0,00; 15,00]	]15,00; 25,00]	]25,00; 100,00]
D6	Desempenho	2.3	Pressão Média Acima da Referência	Média da diferença de pressão mínima em cada nó para a pressão de referência	[0,00; 15,00]	]15,00; 25,00]	]25,00; ∞]
D7	Desempenho	2.4	Excesso de Energia Fornecida à Rede	Excesso de Energia Fornecida à Rede face à energia mínima necessária para o abastecimento	[0,00; 2,00]	]2,00; 2,50]	]2,50; 100,00]
R1	Risco	3.1	Falhas em condutas	Número total de horas de falha de abastecimento devido a intervenções em condutas por 100 clientes	[0,00; 1,00]	]1,00; 2,50]	]2,50; ∞]
R2	Risco	3.1	Falhas em ramais	Número total de horas de falhas de abastecimento devidas a intervenções em ramais por 100 clientes	[0,00; 1,00]	]1,00; 2,50]	]2,50; ∞]
R3	Risco	3.1	Avarias em condutas	Número de avarias em condutas por unidade de comprimento.	[0; 30]	]30; 60]	]60; +∞ [
R4	Risco	3.1	Intervenções em ramais	Número de intervenções em ramais por cada 1000 ramais	[0,00; 10,00]	]10,00; 20,00]	]20,00; ∞]
R5	Risco	3.2	Reclamações	Número total de reclamações devidas ao funcionamento da rede	[0,00; 0,50]	]0,50; 1,00]	]1,00; ∞]
C1	Custo	4.1	Custos Operacionais	Custo do Serviço de abastecimento de Água por km de rede	[0,00; 500,00]	]500,00; 600,00]	]600,00; ∞]
C2	Custo	4.2	Custos de investimento	Excedente ou a reserva de capital para reabilitação face ao orçamento disponível	[0,00; 1,00]	]1,00; 1,50]	]1,50; ∞]

4.8. DIAGNÓSTICO ATUAL

4.8.1. RECOLHA E AVALIAÇÃO DA INFORMAÇÃO

Para se realizar o diagnóstico é necessário proceder à recolha da informação e à respetiva análise. Dado que a informação é pertença da CMB foi necessário solicitar os dados necessários à realização do plano tático, nomeadamente para o cálculo das métricas apresentadas em 4.7. No Quadro 16 apresenta-se o tipo e origem dos dados utilizados bem como a avaliação da fiabilidade, realizada conforme apresentado em 3.7.1, assim como as principais lacunas detetadas pela CMB.

Quadro 16 - Tipo, origem e lacunas da informação

Informação utilizada	Origem	Fiabilidade	Existência de lacunas	Descrição das principais lacunas
Cadastro	SIG	**	✓	Atualização constante dependente da disponibilidade dos recursos humanos.
Clientes	Sistema de Faturação	**	✓	Ainda não existe ligação entre o cadastro e o sistema de gestão de clientes. As leituras de contadores com periodicidade bimensal ou superior criam entropias na realização do balanço hídrico.
Ordens de serviço	Sistema OT Georreferenciadas	*	✓	Falta de maturidade do atual sistema informático de gestão (implementado em 2015).
Monitorização	Telegestão	**	✓	O sistema de telegestão tem falhas no registo de dados e os caudalímetros têm necessidade de aferição.
Económica	Contabilidade de custos	**	✓	A contabilidade de custos é um processo ainda recente (desde 2014)
Patrimonial	Inventário Patrimonial	**	✓	O inventário patrimonial é um processo recente (desde 2014)
Alojamentos	INE	**	✓	A afetação dos alojamentos servidos pela rede não é exata.
Energia	Faturas EDP	**	✓	Não é a melhor forma de controlar o consumo de energia.

Legenda: * Dados baseados em estimativas ou extrapolações a partir de uma amostra limitada; ** Genericamente como a anterior, mas com algumas falhas não significativas nos dados, tais como parte da documentação estar em falta, os cálculos serem antigos, ou ter-se confiado em registos não confirmados, ou ainda terem-se incluídos alguns dados por extrapolação; *** Dados baseados em medições exaustivas, registos fidedignos, procedimentos, investigações ou análises adequadamente documentadas e reconhecidas como o melhor método de cálculo.

Embora a EG tenha a percepção da falta de fiabilidade e da existência de lacunas na generalidade dos dados, a verdade é que já produz uma grande quantidade de informação que se considera válida para suportar a avaliação do desempenho e fundamentar as táticas.

4.8.2. MODELAÇÃO HIDRÁULICA

Para a realização do diagnóstico atual é necessário recorrer à modelação hidráulica da rede em estudo de modo a ser possível o cálculo de algumas das métricas. O modelo da rede foi gerado automaticamente através de exportação do Sistema de Informação Geográfica (SIG) da CMB. Esta exportação para além da topologia da rede inclui os dados cadastrais (e.g., diâmetros dos trechos, cotas dos nós). O modelo exportado era constituído por 1282 nós, 1 reservatório de nível fixo, 979 trechos de condutas e 397 válvulas de seccionamento (cf. Figura 13). O software de simulação hidráulica utilizado foi o EPANET, uma vez que é amplamente utilizado e é gratuito.



Figura 13 - Modelo EPANET da rede de abastecimento de água

Para cada troço de conduta encontra-se associado o respetivo diâmetro, comprimento e coeficiente de rugosidade em função do material do mesmo. A cada nó está associado a respetiva cota do terreno assim como o consumo-base. O modelo exportado inclui ainda todas as válvulas de seccionamento existentes na rede, havendo algumas com o estado fechado. A entrada da água na rede de distribuição é efetuada a partir de uma estação sobreprensora, composta por duas bombas em paralelo e de funcionamento alternado (cf. Figura 14). De

acordo com o Artigo 21º do Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, a pressão de serviço a ser garantida em qualquer dispositivo de utilização predial é dada por $10+4n$ (m c.a.), sendo n o número de pisos acima do solo, considerado igual a cinco no presente caso de estudo.



Figura 14 - Estação sobreprensa

Ambas as bombas têm controladores de pressão e variadores de velocidade, de forma a manterem um *setpoint* de 1,2 bar de pressão à rede perante diferentes consumos. A adoção deste sistema prende-se com a topografia da rede dado que nas zonas de topografia mais baixa poderão ocorrer roturas nas condutas por excesso de pressão.

A estação hidropressora é modelada como um reservatório de nível fixo, com carga hidráulica constante de 47 m c.a., resultantes dos 35 m da cota topográfica somados aos 12 m c.a (i.e., 1,2 bares) fornecidos pela estação sobreprensa. Assim, é assegurada a pressão mínima de 30 m c.a., em todos os nós da rede.

O consumo na rede é bastante variável no tempo, porém é possível através do processamento estatístico dos registos contínuos de caudal determinar padrões que caracterizam o consumo na rede. Na Figura 15 é apresentado o padrão de consumo para o presente caso de estudo e que foi fornecido pela CMB.

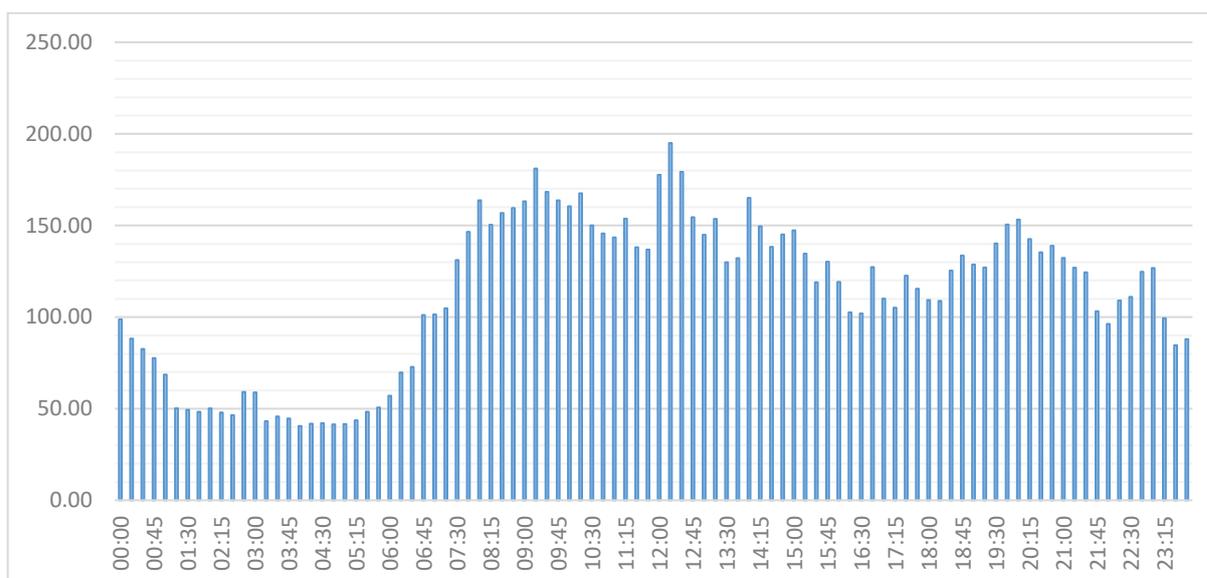


Figura 15 - Padrão Consumo

4.8.3. BALANÇO HÍDRICO

As perdas de água são uma ocorrência inerente a todos os sistemas de distribuição, sendo o volume perdido traduzido pela diferença entre a quantidade de água entrada no sistema e o consumo autorizado. O volume de perdas depende das especificidades de cada sistema, em particular da condição das infraestruturas e da sua operação e manutenção. A sua determinação é efetuada com recurso ao balanço hídrico do sistema, descrito no Guia Técnico n.º 3 (Alegre *et al*, 2005), conforme as recomendações da IWA (*Internacional Water Association*). Desta forma é possível determinar o valor das perdas reais, das perdas aparentes e do consumo medido, a serem utilizados no cálculo de algumas das métricas.

O primeiro passo consistiu em determinar o *volume de água entrada no sistema*, a partir dos registos dos contadores à saída da estação sobressora. De seguida determinou-se o *consumo faturado medido*, a partir do registo das leituras de contadores. O *consumo faturado não medido* (i.e., estimado) foi considerado igual a zero, por não existir nenhuma situação em que o consumo faturado seja baseado apenas em estimativas. O *consumo autorizado não faturado medido* inclui os consumos das infraestruturas da EG e foi obtido com base no registo das leituras dos respetivos contadores. Seguidamente calculou-se o *consumo autorizado não faturado não medido*, onde se inserem o canil e a rega dos espaços verdes. O consumo para rega de espaços verdes foi estimado com base num consumo de rega por metro quadrado de 8 l/dia, com um total de 56 000 m² de área irrigada e contabilizando cinco meses de rega por ano. O total das *perdas de água* do sistema resulta da subtração do *consumo autorizado* ao

volume de água entrada no sistema. O passo seguinte consistiu em determinar as *perdas aparentes*, associadas a erros de medição e a consumo ilícito. Foi considerado um erro de medição de 4% do volume medido. O consumo ilícito foi estimado com base num consumo de 2m³/mês em 5% dos hidrantes (i.e., bocas de rega e bocas de incêndio). Por último foram calculadas as *perdas reais*, subtraindo as *perdas aparentes* às *perdas de água*.

O resultado do balanço hídrico para o ano de referência de 2016 está apresentado no Quadro 17.

Quadro 17 - Balanço Hídrico do sistema

Água entrada no sistema: 715 654 m ³ /ano	Consumo autorizado: 585 346 m ³ /ano	Consumo faturado: 479 557 m ³ /ano	Medido: 479 557 m ³ /ano	Consumo faturado: 479 557 m ³ /ano	
			Não medido 0 m ³ /ano		
	Perdas de água: 130 308 m ³ /ano	Consumo não faturado: 105 789 m ³ /ano		Medido: 29 061 m ³ /ano	Água não faturada: 236 097 m ³ /ano
				Não medido: 76 729 m ³ /ano	
		Perdas aparentes: 20 830 m ³ /ano		Usos ilícitos: 485 m ³ /ano	
				Erros de medição: 20 345 m ³ /ano	
		Perdas reais: 109 478 m ³ /ano		Fugas em ramais: n.d. ⁽¹⁾	
				Fugas em condutas: n.d. ⁽¹⁾	
		Fugas e extravasamentos nos reservatórios: n.a. ⁽²⁾			

Legenda: ⁽¹⁾ A avaliação destas parcelas seria possível mediante a utilização de certos métodos, nomeadamente, a análise dos caudais noturnos ou o cálculo da frequência, caudal e duração das roturas. No entanto, dado os custos associados, e por não se enquadrar no âmbito do presente trabalho, não foram avaliadas. ⁽²⁾ Uma vez que o contador se encontra a jusante do reservatório, o volume perdido através de fugas e extravasamentos nos reservatórios não é contabilizado no balanço hídrico deste sistema.

4.8.4. AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

A avaliação da situação de referência consiste no cálculo das métricas apresentadas no Quadro 15, cujos resultados obtidos serão comparados com os respetivos valores de referência. Cada uma das métricas será brevemente abordada nas secções seguintes.

4.8.4.1. ÍNDICE DE VALOR DA INFRAESTRUTURA

O índice de valor da infraestrutura (IVI) é um indicador bastante útil quando se pretende avaliar o grau de juventude, de maturidade ou de envelhecimento de uma infraestrutura, mostrando a necessidade ou não de intervir em determinado segmento, assim como se há um investimento excessivo ou insuficiente. É obtido através da razão entre o valor atual da infraestrutura e o correspondente valor de substituição (Alegre e Covas, 2010).

$$DI = \frac{\sum_{i=1}^N va_{i,t}}{\sum_{i=1}^N cs_{i,t}} \quad (2)$$

em que:

- t – ano em que se está a fazer a avaliação (ano);
- DI – índice de valor da infraestrutura no ano t ;
- N – nº total de ativos;
- $cs_{i,t}$ – custo de substituição do ativo i no ano t (€);
- $va_{i,t}$ – valor atual do ativo i no ano t (€).

O valor atual da infraestrutura foi obtido através da depreciação do valor dos componentes pertencentes à rede, ao longo dos respetivos anos em serviço. O cálculo do custo de substituição de cada ativo no ano t , $cs_{i,t}$, foi efetuado com recurso a funções de custo (Covas *et al.*, 2015). Estas funções de custo traduzem o custo de substituição, por metro linear de conduta, e para o material pretendido. Ao custo de substituição de cada conduta foi adicionado o custo de abertura de vala e repavimentação.

O resultado obtido para o IVI para o ano de referência, 2016, está apresentado no Quadro 18.

Quadro 18 - índice de valor da infraestrutura para o ano de referência de 2016

va,t (€)	cs,t (€)	IVI (2016)
885125	2601393	0,34

O IVI toma valores abaixo dos 0,40, significando que a infraestrutura se encontra envelhecida e carece de investimentos em reabilitação.

4.8.4.2. REABILITAÇÃO DA REDE

As condutas, ao longo da sua vida, estão expostas à ação de diversos fatores que conduzem à degradação da sua condição estrutural, podendo culminar no colapso das mesmas. O indicador de reabilitação da rede consiste na percentagem da rede reabilitada em relação ao

total de rede existente, no ano de avaliação do sistema, estando assim relacionado com o tempo de vida útil de cada componente. Em termos práticos, reabilitar 1% da rede por ano significa assumir tempos de vida útil dos componentes de 100 anos.

Tendo em conta os materiais utilizados (PEAD, PVC, Fibrocimento) cujos tempos de vida útil se situam nos 50 anos, o indicador de reabilitação da rede deveria assumir no mínimo valores na ordem dos 2%.

$$D2 = \frac{Lreab(t)}{Ltotal(t)} * 100 \quad (3)$$

em que:

- t – ano em que se está a fazer a avaliação (ano);
- $D2$ – indicador de reabilitação da rede no ano t (%);
- $Lreab(t)$ – Comprimento de condutas reabilitadas no ano t (km);
- $Ltotal(t)$ – Comprimento total das condutas no ano t (km).

O resultado obtido para o indicador de reabilitação da rede no ano de referência, 2016, está apresentado no Quadro 19.

Quadro 19 – Indicador de reabilitação da rede para o ano de referência de 2016

$Lreab$ (km)	$Ltotal$ (km)	$REAB$ (%)
0,58	35,1	1,65

O indicador de reabilitação de 1,65% ficam aquém dos 2% recomendados, dado o tempo de vida útil estimado para os materiais instalados.

4.8.4.3. PERDAS REAIS DE ÁGUA EM RAMAIS

As perdas reais da rede consistem nas perdas físicas de água do sistema em pressão, até ao contador do cliente. Consiste no volume de água captado, tratado e bombeado sem que, no entanto, seja utilizado. É contabilizado o volume de perdas através de todos os tipos de fissuras ou roturas em ramais e condutas bem como o volume de perdas através de extravasamentos. Estas perdas inflacionam os custos de produção da água, colocando também os recursos hídricos em maior stress.

O índice de perdas reais em ramais representa a quantidade de água perdida em fugas, roturas ou extravasamentos, por unidade de tempo, por ramal e é obtido através da seguinte expressão:

$$D3 = \frac{\text{Perdas reais}}{\text{Ramais de ligação}} \times \frac{1000}{365} \quad (4)$$

em que:

D3 – perdas reais de água em ramais (l/(ramal.dia));

Perdas reais – perdas reais de água no sistema para o ano em análise (m³);

Ramais de ligação – número de ramais domiciliários da rede.

O valor das perdas reais foi calculado com base no balanço hídrico do sistema, conforme apresentado em 4.8.3. O resultado obtido para as perdas reais de água por ramal para o ano de referência de 2016, é apresentado no Quadro 20.

Quadro 20 - Perdas reais de água por ramal para o ano de referência de 2016

<i>Perdas reais (m³)</i>	<i>n^o de ramais de ligação</i>	<i>Perdas reais de água por ramal (l/(rm. dia))</i>
109478	2072	144,76

O valor obtido encontra-se na banda de referência da qualidade de serviço mediano, próximo do limiar da qualidade de serviço insatisfatória.

4.8.4.4. INEFICIÊNCIA NA UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A água é um recurso que deve ser utilizado para benefício do Homem sem comprometer as necessidades dos ecossistemas e a continuidade hídrica dos cursos de água. Tratando-se de um fator essencial para o desenvolvimento socioeconómico do país, é necessário garantir eficiência e racionalidade no uso deste recurso. A redução das perdas de água a níveis aceitáveis contribui para a minimização dos riscos associados à escassez de água.

O indicador de ineficiência na utilização dos recursos hídricos representa a percentagem de água que é perdida através de fugas, roturas ou extravasamentos. É obtido através da seguinte expressão:

$$D4 = \frac{\text{Perdas reais}}{\text{Água entrada no sistema}} \times 100 \quad (5)$$

em que:

D4 – Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%);

Perdas reais – Perdas reais de água no sistema para o ano em análise (m³);

Água entrada no sistema – Volume de água fornecido à rede (m³).

O valor das perdas reais foi calculado com base no balanço hídrico do sistema, conforme apresentado em 4.8.3. O resultado obtido para a ineficiência na utilização dos recursos hídricos para o ano de referência de 2016, é apresentado no Quadro 21.

Quadro 21 - Ineficiência na utilização dos recursos hídricos para o ano de referência de 2016

<i>Perdas reais (m³)</i>	<i>Água entrada no sistema (m³)</i>	<i>Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (%)</i>
109478	715654	15,30

O indicador da ineficiência na utilização dos recursos hídricos encontra-se a meio da banda de referência da qualidade de serviço mediana.

4.8.4.5. ÁGUA NÃO MEDIDA

A gestão de um sistema de abastecimento deve contemplar o controlo e monitorização permanente dos respetivos fluxos de caudal. A métrica água não medida traduz a percentagem de água fornecida ao sistema, cujo consumo não é medido. É obtido através da seguinte expressão:

$$D5 = \frac{\text{Volume de água não medido}}{\text{Água entrada no sistema}} \times 100 \quad (6)$$

em que:

D5 – Água não medida (%);

Volume de água não medido – Obtido através da subtração do consumo medido (faturado e não faturado) ao volume de água de entrada no sistema (m³);

Água entrada no sistema – Volume de água fornecido à rede (m³).

O volume de água não medido foi calculado com base no balanço hídrico do sistema, conforme apresentado em 4.8.3. O resultado obtido da água não medida para o ano de referência de 2016, é apresentado no Quadro 22.

Quadro 22 – Água não medida para o ano de referência de 2016

<i>Volume de água não medida (m³)</i>	<i>Água entrada no sistema (m³)</i>	<i>Água não medida (%)</i>
508618	715654	28,93

O indicador água não medida encontra-se na banda de referência da qualidade de serviço insatisfatória.

4.8.4.6. PRESSÃO MÍNIMA ACIMA DA REFERÊNCIA

De acordo com Artigo 21º do Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, deve ser assegurado no ramal de ligação ao prédio uma pressão mínima de serviço dada por $10+4n$ (m c.a.), sendo n o número de pisos acima do solo, considerado igual a cinco no presente caso de estudo. Este índice de desempenho permite verificar o excesso de pressão (i.e., pressão superior à pressão mínima de serviço), que está a ser fornecida à rede, assim como garantir que a pressão de serviço é garantida em todos os pontos de consumo. É obtido através da seguinte expressão:

$$D6 = \frac{\sum P_i - P_r}{n} \quad (7)$$

em que:

- $D6$ – Pressão mínima acima da referência (m c.a.)
- P_i – Pressão mínima em cada nó (m c.a.);
- P_r – Pressão de referência, considerada igual a 30 (m c.a.);
- n – Número de nós do modelo da rede.

Para o cálculo da pressão mínima em cada nó foi utilizado o *software* de simulação hidráulica EPANET, já abordado no subcapítulo 4.8.2. Devido à variação dos consumos ao longo do dia foram consideradas análises horárias. Assim, e para cada hora, foi calculado o índice da pressão mínima acima da referência. De forma a agregar os 24 resultados num único valor foi feita a média aritmética destes. O resultado obtido para a pressão mínima acima da referência está apresentado no Quadro 23.

Quadro 23 - Pressão mínima acima da referência para o ano de 2016

P_i (m c.a.)	P_r (m c.a.)	Pressão mínima acima da referência (m c.a.)
Variável	30	11,52

A ocorrência de pressões elevadas e de flutuações significativas no valor da pressão são causas importantes de enfraquecimento estrutural das condutas e conseqüente aumento da taxa de roturas, contribuindo para a redução da vida útil da rede de água. O Artigo 21º do Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, prevê também a limitação da pressão máxima em qualquer ponto de utilização a 60 m c.a. bem como flutuações de pressões ao longo do dia a 30 m c.a. Ambas as condições foram verificadas para o presente caso de estudo.

4.8.4.7. EXCESSO DE ENERGIA FORNECIDA À REDE

Os custos de energia consumida tendem a representar uma das rubricas mais expressivas dos custos de operação dos sistemas de abastecimento de água. Por esta razão, o uso eficiente da energia é vital para a sustentabilidade económica global das EG (Sousa, 2008). A potência fornecida à rede inclui sempre uma parcela de energia para cobrir o caudal que será bombeado, mas perdido através de fugas e fissuras. O indicador excesso de energia fornecida à rede quantifica assim o excesso teórico de energia que é fornecido ao sistema. É obtido através da seguinte expressão:

$$D7 = \frac{E_{forn}}{E_{min}} \quad (8)$$

em que:

$D7$ – Excesso de energia fornecida à rede;

E_{forn} – Corresponde à energia total fornecida à área de análise, obtida através das leituras dos contadores elétricos instalados na estação sobressora (kWh/ano);

E_{min} – Energia mínima necessária para o abastecimento de água que corresponde ao somatório das potências mínimas requeridas em cada nó, de modo a satisfazer os respetivos consumos e os requisitos mínimos de pressão (kWh/ano) (Sousa, 2008).

O resultado obtido para o excesso de energia fornecido à rede está apresentado no Quadro 24.

Quadro 24 - Excesso de energia fornecido á rede para o ano de 2016

E_{forn} (kWh/ano)	E_{min} (kWh/ano)	Excesso de energia fornecida à rede
75822	68907	1,10

O excesso de energia fornecida encontra-se na banda de referência da qualidade de serviço boa.

4.8.4.8. TEMPO DE FALHA DEVIDO A INTERVENÇÕES EM CONDUTAS

Segundo o Artigo 8º do “Regulamento dos Serviços de Abastecimento Público de Água do município do Barreiro” (CMB, 2016), o abastecimento de água aos utilizadores deve ser assegurado pela EG de forma contínua, podendo ser interrompido caso se proceda a

trabalhos de reparação ou substituição de ramais de ligação bem como de componentes pertencentes à rede pública de distribuição/adução. Este indicador traduz o tempo de falha devido a intervenções em condutas por cada 100 clientes ativos e é obtido através da seguinte expressão:

$$R1 = \frac{\text{Tempo de falha devido a intervenções em condutas}}{\text{Clientes ativos}/100} \quad (9)$$

em que:

R1 – Tempo de falha devido a intervenções em condutas;
Tempo de falha devido a intervenções em condutas – Número de horas de falha no abastecimento devido a trabalhos de reparação, remodelação ou substituição de condutas e componentes pertencentes da rede de distribuição/adução. Foi obtido através dos registos das ordens de trabalho (nº horas/ano);
Clientes ativos – Número total de clientes ativos.

O resultado obtido para o tempo de falha devido a intervenções em condutas é apresentado no Quadro 25.

Quadro 25 - Tempo de falha devido a intervenções em condutas para o ano de 2016

<i>Tempo de falha devido a intervenções em condutas (horas/ano)</i>	<i>Clientes ativos</i>	<i>Tempo de falha devido a intervenções em condutas (horas/100 clientes)</i>
74.25	5248	1,41

O indicador tempo de falha devido a intervenções em condutas encontra-se na banda de referência da qualidade de serviço mediana.

4.8.4.9. TEMPO DE FALHA DEVIDO A INTERVENÇÕES EM RAMAIS

Este indicador, à semelhança do anterior, traduz o tempo de falha devido a intervenções em ramais, por cada 100 clientes ativos. É obtido através da seguinte expressão:

$$R2 = \frac{\text{Tempo de falha devido a intervenções em ramais}}{\text{Clientes ativos}/100} \quad (10)$$

em que:

- R2* – Tempo de falha devido a intervenções em ramais;
Tempo de falha devido a intervenções em ramais – Número de horas de falha no abastecimento devido a trabalhos de reparação, remodelação ou substituição de ramais, exceto a execução de ramais novos. Foi obtido através dos registos das ordens de trabalho (nº horas/ano);
Cientes ativos – Número total de clientes ativos.

O resultado obtido para o tempo de falha devido a intervenções em ramais é apresentado no Quadro 26.

Quadro 26 - Tempo de falha devido a intervenções em ramais para o ano de 2016

<i>Tempo de falha devido a intervenções em condutas (horas/ano)</i>	<i>Cientes ativos</i>	<i>Tempo de falha devido a intervenções em condutas (horas/100 clientes)</i>
56.45	5248	1,08

A métrica tempo de falha devido a intervenções em ramais encontra-se na banda de referência da qualidade de serviço mediana.

4.8.4.10. AVARIAS EM CONDUTAS

O desempenho inadequado dos sistemas acarreta problemas não só ao nível da prestação do serviço. Em termos de segurança, o desempenho inadequado dos sistemas traduz-se numa maior probabilidade de ocorrência de acidentes provocados por roturas em condutas e avarias em equipamentos. Estas roturas podem provocar danos em pessoas e bens por abatimento do terreno ou por inundações, podendo até provocar vítimas mortais. Perante um desempenho inadequado aumentam não só os custos de O&M relativos à reparação de avarias por parte da EG, mas também custos sociais associados às perturbações causadas aos consumidores afetados pela interrupção do serviço. Em termos de impacto ambiental, qualquer intervenção de manutenção curativa não programada (e.g., reparação de uma avaria numa conduta), terá maiores impactes no meio ambiente e uma pior integração ambiental do espaço de intervenção, causando mais perturbações no meio do que uma intervenção de reabilitação planeada. A métrica avarias em condutas quantifica o número de avarias em condutas e é obtido através da seguinte expressão:

$$R3 = \frac{N^{\circ} \text{ de avarias em condutas}}{\text{Comprimento total das condutas}} \times 100 \quad (11)$$

em que:

R3 – Avarias em condutas;

Nº de avarias em condutas – Número total de avarias ocorridas em condutas, excluindo-se as avarias em condutas comprovadamente provocadas por terceiros e cuja reparação lhes foi faturada. Foi obtido através dos registos das ordens de trabalho (nº/ano);

Comprimento total das condutas – Comprimento total das condutas (km).

O resultado obtido para as avarias em condutas é apresentado no Quadro 27.

Quadro 27 - Avarias em condutas para o ano de 2016

<i>Nº de avarias em condutas (nº/ano)</i>	<i>Comprimento total das condutas (km)</i>	<i>Avarias em condutas (nº/100 km)</i>
14	35,1	39,89

A métrica avarias em condutas encontra-se na banda de referência da qualidade de serviço mediana.

4.8.4.11. INTERVENÇÕES EM RAMAIS

Este indicador traduz o número de intervenções (motivadas por avarias) em ramais. São contabilizadas as intervenções que deram origem a trabalhos de reparação, remodelação ou substituição de ramais, excetuando-se a execução de ramais novos. É obtido através da seguinte expressão:

$$R4 = \frac{N^{\circ} \text{ de intervenções em ramais}}{N^{\circ} \text{ total de ramais}} \times 1000 \quad (12)$$

em que:

R4 – Intervenções em condutas;

Nº de intervenções em ramais – Número total de intervenções ocorridas em ramais, obtido através dos registos das ordens de trabalho (nº/ano);

Nº total de ramais – Número total de ramais ativos pertencentes à rede.

O resultado obtido para as intervenções em ramais é apresentado no Quadro 28.

Quadro 28 - Intervenções em ramais para o ano de 2016

<i>Nº de intervenções em ramais (nº/ano)</i>	<i>Nº total de ramais</i>	<i>Intervenções em ramais (nº/1000 ramais)</i>
80	2572	31,10

A métrica intervenções em ramais encontra-se na banda de referência da qualidade de serviço insatisfatória.

4.8.4.12. RECLAMAÇÕES

É possível detetar certas disfunções que indiciam a existência de problemas hidráulicos através da análise das reclamações dos utilizadores. Este indicador é obtido através da seguinte expressão:

$$R5 = \frac{N^{\circ} \text{ total de reclamações}}{N^{\circ} \text{ total de clientes ativos}} \times 1000 \quad (13)$$

em que:

R5 – Reclamações;

Nº total de reclamações – Número total de reclamações devido ao funcionamento da rede, excetuando-se reclamações/sugestões referentes à faturação ou ao atendimento do Gabinete Comercial (nº/ano);

Nº total de clientes ativos – Número total de clientes ativos.

O resultado obtido para as reclamações é apresentado no Quadro 29.

Quadro 29 - Cálculo das reclamações para o ano de 2016

<i>Nº total de reclamações (nº/ano)</i>	<i>Nº total de clientes ativos</i>	<i>Reclamações (nº/1000 clientes)</i>
3	5248	0,57

A métrica reclamações encontra-se na banda de referência da qualidade de serviço mediana.

4.8.4.13. CUSTOS OPERACIONAIS

A degradação do desempenho do sistema de adução e de distribuição acarreta consequências do ponto de vista económico-financeiro. A um desempenho inadequado corresponde um aumento dos custos tangíveis de exploração do sistema, não só em termos de custos de operação e manutenção relativos à reparação de avarias, mas também em

termos de custos de tratamento devidos à degradação da qualidade da água. A métrica custos operacionais traduz o custo do serviço de abastecimento de água por quilómetro de rede e é calculada através da seguinte expressão:

$$C1 = \frac{\text{Custos totais}}{\text{Comprimento total das condutas}} \quad (14)$$

em que:

C1 – Custos operacionais;

Custos totais – Custos de operação e manutenção relativos à reparação de avarias e tratamento da água (€/ano);

Comprimento total das condutas – Comprimento total das condutas (km).

O resultado obtido para os custos operacionais é apresentado no Quadro 30.

Quadro 30 - Cálculo dos custos operacionais para o ano de 2016

<i>Custos totais</i> (€/ano)	<i>Comprimento total</i> <i>das condutas (km)</i>	<i>Custos operacionais</i> (€/km)
17759	35,1	505,95

A métrica custos operacionais encontra-se na banda de referência da qualidade de serviço mediana.

4.8.4.14. CUSTOS DE INVESTIMENTO

A métrica custos de investimento representa o investimento que a EG terá que efetuar na rede de forma a implementar a alternativa considerada no final do planeamento tático. O investimento a efetuar na rede é planeado anualmente, resultante do valor total faturado com o abastecimento de água subtraído dos custos operacionais, custos com pessoal, amortizações, juros e gastos com energia. A métrica custos de investimento traduz o excedente ou a reserva de capital face ao orçamento disponível e é calculada através da seguinte expressão:

$$C2 = \frac{\text{Custos totais de investimento}}{\text{Orçamento disponível}} \quad (15)$$

em que:

C2 – Custos de investimento;

Custos totais de investimento – Custos associados à implementação das diversas alternativas em análise (€/ano);

Orçamento disponível – Orçamento disponível para implementar a alternativa considerada no final do planeamento tático (€/ano);

Esta métrica não será calculada durante o diagnóstico tático, mas sim durante a fase de produção do plano, onde serão desenvolvidas e comparadas as alternativas de intervenção.

4.8.4.15. RESUMO DA AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

Aproximadamente 58% das condutas pertencentes ao sistema de abastecimento em estudo foram construídas em 1959, estando até à data, há 58 anos em serviço. O resultado para o índice de valor infraestrutural da rede revela uma rede envelhecida e que necessita de investimentos significativos em reabilitação. O indicador da reabilitação da rede revela a gestão proativa da EG, prática recente que veio contrariar a gestão reativa que era mantida.

As perdas reais no sistema, dada a idade do mesmo, apresentam um valor satisfatório, sendo, no entanto, passíveis de alguma redução. O indicador da água não medida revelou-se bastante insatisfatório. Devido à inexistência de contadores nos espaços verdes, não existe controlo nem medição da água que é utilizada para rega destes espaços.

Os índices D6 e D7 mostram que a rede está otimizada em termos energéticos, não existindo necessidade de se intervir neste campo.

Os indicadores R1, R2, R3 e R4 apresentam um desempenho insatisfatório. Dada a idade da rede é espectável que o número de avarias e intervenções seja relevante, assim como o respetivo tempo de falha no abastecimento.

Os indicadores R5 e C1 apresentam resultados satisfatórios, muito próximos da banda de qualidade boa.

4.8.5. DEFINIÇÃO DAS METAS

Com base no resultado do diagnóstico para a situação de referência (2016), e considerando o plano de investimentos a médio-longo prazo definido pela EG (i.e., capacidade real de intervir, em termos dos recursos disponíveis ou disponibilizáveis), estabelecem-se as metas que se pretendem atingir no horizonte do planeamento tático (2020) e no horizonte do planeamento estratégico (2035). No Quadro 31 é apresentado o resultado do diagnóstico tático e o valor das metas adotadas.

Quadro 31 – Resultados para a situação de referência e definição de metas

ID	Designação	Situação referência (2016)	Metas no horizonte de planeamento	
			Tático (2020)	Estratégico (2035)
D1	Índice de valor infraestrutural da rede - IVI	0,34	0,38	0,45
D2	Reabilitação da rede	1,65	2,00	2,00
D3	Perdas reais de água em ramais	144,76	135,34	100,00
D4	Ineficiência na utilização dos recursos hídricos	15,30	14,461	12,00
D5	Água não medida	28,93	26,00	15,00
D6	Pressão média acima da referência	11,52	11,52	11,52
D7	Excesso de energia fornecida à rede	1,10	1,10	1,10
R1	Horas de falha devido a intervenções em condutas	1,41	1,32	1,00
R2	Horas de falha devido a intervenções em ramais	1,08	1,06	1,00
R3	Avarias em condutas	39,89	37,81	30,00
R4	Intervenções em ramais	31,10	26,66	10,00
R5	Reclamações	0,57	0,55	0,50
C1	Custos operacionais	505,95	504,70	500,00

4.9. ESTABELECIMENTO DE CENÁRIOS DE EVOLUÇÃO DE CONSUMOS

Como visto no subcapítulo 3.8, um cenário pode ser definido como uma possível trajetória (desejável ou indesejável) resultante de um conjunto de fatores condicionantes não controláveis pelo decisor. A consideração na análise de cenários permite lidar com a incerteza acerca do futuro, tanto a nível de evolução de consumos como a nível da configuração e gestão do sistema de abastecimento de água (Cariço, 2014). Para o presente caso de estudo foram ponderados os seguintes cenários divergentes e plausíveis:

- **Cenário base** – diz respeito à “evolução natural” da situação atual. Por se tratar de uma zona maioritariamente habitacional consolidada, é esperada a estabilização dos consumos.
- **Cenário de reestruturação da zona industrial** – integração das respetivas infraestruturas no sistema municipal e conseqüente reconfiguração do sistema de abastecimento.
- **Cenário de implementação operacional da Associação Intermunicipal de Águas (AIA)** – reestruturação da gestão do abastecimento de água com a criação de um sistema intermunicipal em “alta”. Dado que município passará a comprar água em vez de a produzir, as perdas reais têm maior relevância a nível económico.

Perante a impossibilidade de definir em que prazo poderão ocorrer os cenários de reestruturação da zona industrial e de implementação operacional da AIA, nem caracterizar a dimensão das alterações que se irão impor (dados os contornos indeterminados de tais projetos à data atual), optou-se por analisar apenas o cenário base, ficando a indicação de que, caso algum dos outros cenários ocorra, deve existir a revisão e atualização do plano tático.

4.10. PRODUÇÃO DO PLANO

A produção do plano contempla várias fases, nomeadamente, a identificação e desenvolvimento de alternativas de intervenção, a avaliação da sua viabilidade técnica e económica e a escolha da melhor alternativa de intervenção com base numa análise multicritério. Nos subcapítulos seguintes é abordada cada uma destas fases.

4.10.1. DESENVOLVIMENTO DE ALTERNATIVAS DE INTERVENÇÃO

Uma vez efetuado o diagnóstico da situação de referência procede-se à identificação, desenvolvimento e análise de alternativas de intervenção que permitem solucionar ou mitigar os problemas identificados, bem como cumprir com as metas e os requisitos estabelecidos.

A rede de abastecimento de água em estudo foi dimensionada e construída gradualmente, consoante as necessidades da população e a disponibilidade da EG. O seu dimensionamento previa eventuais expansões à rede e o conseqüente aumento dos consumos, não ocorrendo assim mudanças importantes de configuração. Deste modo a rede já se encontra otimizada a nível energético (i.e., dimensionamento ótimo dos diâmetros das condutas tendo em conta o princípio de energia mínima), pelo que a reabilitação da rede consistirá na substituição das

condutas por outras de características idênticas, mas de material mais recente. Os materiais utilizados nas condutas (PEAD, PVC, Fibrocimento) apresentam, em média, tempos de vida útil de 50 anos, pelo que a reabilitação dos mesmos deverá ser realizada a uma taxa anual de 2%.

Os espaços verdes ocupam uma área significativa da área em estudo (i.e., 56 000 m²). Devido à inexistência de contadores nestes espaços, não existe controlo nem medição da água que é utilizada para rega. O consumo para rega de espaços verdes, estimado no balanço hídrico (vd. subcapítulo 4.8.3), resultou em 68 133 m³ ou 9,5% do volume de água entrada no sistema. Assim, uma possível forma de colmatar o desempenho do sistema face à água não medida passa pela criação de agrupamentos de canteiros e respetivo sistema de rega, e consequente instalação de contadores nestes agrupamentos. Os canteiros e espaços verdes foram agrupados por proximidade a fim de se evitar que os respetivos sistemas de rega cruzassem a via pública. Para o efeito foi sobreposta a cartografia do Lavradio à localização e delimitação dos espaços verdes e à localização das condutas, resultando num total de 52 agrupamentos de canteiros e, consequentemente, instalação de 52 sistemas de rega e respetivos contadores.

A reabilitação de um troço de conduta prevê a reabilitação dos ramais que se intercetam com esta. Os ramais dispõem de um tempo de vida útil de 20 anos, inferior aos 50 anos associados às condutas. Ou seja, não se deve reabilitar os ramais apenas em simultâneo com as condutas, mas sim desenvolver e manter um plano de reabilitação de ramais, onde se pretendem reabilitar 5% dos ramais por ano.

Os contadores, quando operam excedendo o seu tempo de vida útil de 12 anos, exibem problemas mecânicos que induzem erros nas leituras e, consequentemente, prejuízo económico. Neste sentido é essencial a manutenção de um plano de renovação do parque de contadores.

Assim, para além da alternativa de *statu quo*, foram elaboradas três alternativas de intervenção que permitem solucionar ou mitigar os problemas identificados na fase de diagnóstico. A alternativa **A₁** admite que alguns componentes excedam o seu tempo de vida útil, podendo comprometer o sistema a longo prazo. Nesta alternativa as táticas são implementadas a longo prazo. Na alternativa **A₂** os tempos de vida útil dos componentes são respeitados e as táticas são implementadas a curto prazo. A alternativa **A₃** prevê um forte investimento em reabilitação, visando a melhoria do desempenho.

Assim, as alternativas de intervenção consideradas foram as seguintes:

- **A₀**: situação de *statu quo* que, de acordo com Alegre e Covas (2010), corresponde a não serem realizadas quaisquer intervenções de reabilitação na rede de distribuição, mantendo-se as atuais práticas reativas de O&M;
- **A₁**: adoção de uma taxa de reabilitação anual de 1,5% para condutas e de 5% para ramais, renovação do parque de contadores a cada 12 anos e instalação de 52 contadores em espaços verdes nos próximos 15 anos;
- **A₂**: adoção de uma taxa de reabilitação anual de 2% para condutas e de 5% para ramais, renovação do parque de contadores a cada 12 anos e instalação de 52 contadores em espaços verdes nos próximos 5 anos;
- **A₃**: adoção de uma taxa de reabilitação anual de 3% para condutas e de 5% para ramais, renovação do parque de contadores a cada 12 anos e instalação de 52 contadores em espaços verdes nos próximos 5 anos.

4.10.2. PREVISÃO DO DESEMPENHO FUTURO DAS ALTERNATIVAS DE INTERVENÇÃO

Depois de definidas as alternativas de intervenção, procedeu-se à previsão do respetivo desempenho futuro no horizonte de planeamento estratégico (2035) e tático (2022), avaliando assim a viabilidade técnica e económica de cada alternativa. Esta avaliação futura teve em consideração a deterioração inexorável dos componentes e foi desenvolvida através do cômputo das métricas consideradas. No Quadro 32 é apresentado o resultado da previsão do desempenho futuro de cada alternativa.

Quadro 32 - Previsão do desempenho futuro de cada alternativa

ID	A ₀		A ₁		A ₂		A ₃		Metas	
	Horizonte de planeamento		Horizonte de planeamento		Horizonte de planeamento		Horizonte de planeamento		Horizonte de planeamento	
	Tático (2020)	Estratégico (2035)	Tático (2020)	Estratégico (2035)	Tático (2020)	Estratégico (2035)	Tático (2020)	Estratégico (2035)	Tático (2020)	Estratégico (2035)
D1	0,31	0,21	0,35	0,39	0,37	0,43	0,39	0,51	0,40	0,45
D2	0,00	0,00	1,50	1,50	2,00	2,00	3,00	3,00	2,00	2,00
D3	157,35	223,48	139,76	126,87	134,83	113,67	126,09	96,94	132,98	100,00
D4	16,63	24,68	14,77	13,41	14,25	11,98	13,33	10,25	14,43	12,00
D5	31,45	46,66	25,81	21,02	19,85	14,93	18,56	13,00	25,26	15,00
D6	12,52	18,58	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52
D7	1,20	1,77	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
R1	1,53	2,27	1,36	1,24	1,31	1,09	1,23	0,94	1,30	1,00
R2	1,17	1,74	1,04	0,95	1,01	0,85	0,94	0,72	1,06	1,00
R3	43,36	64,34	38,51	34,96	37,15	31,32	34,74	26,71	37,29	30,00
R4	33,80	50,16	27,52	18,29	25,77	14,40	24,41	13,98	25,55	10,00
R5	0,62	0,92	0,55	0,50	0,53	0,45	0,50	0,38	0,54	0,50
C1	549,95	816,05	488,47	443,44	471,26	397,29	440,68	338,81	504,38	500,00

A partir do Quadro 32 é possível concluir que a melhor alternativa de intervenção, do ponto de vista do desempenho e do risco, é a alternativa A₃. Nesta alternativa, todas as metas, à exceção da métrica R4, são atingidas nos horizontes de planeamento considerados. A alternativa A₂ cumpre na maioria das metas, sendo, porém, inferior à alternativa A₃. A alternativa A₁ não cumpre com algumas metas nos horizontes de planeamento considerados e, ao considerar uma taxa de reabilitação anual de condutas de 1,5%, admite que alguns componentes vão exceder o seu tempo de vida útil, podendo comprometer o sistema a longo prazo. A alternativa A₀, por não serem realizadas quaisquer intervenções de reabilitação na rede de distribuição, é a que apresenta pior desempenho.

Paralelamente à previsão do desempenho futuro de cada alternativa de intervenção foi calculado o investimento anual associado à implementação de cada uma destas alternativas. O custo de substituição de condutas e ramais foi obtido com recurso a funções de custo (Covas *et al.*, 2015). O custo de renovação do parque de contadores foi calculado através do número de contadores instalados associados a cada calibre e os respetivos custos de substituição, fornecidos pela EG. O custo da criação de agrupamentos de canteiros, respetivo sistema de rega e instalação de contadores foi disponibilizado pela EG tendo em conta os custos deste tipo de operação realizado noutros subsistemas.

No Quadro 33 são apresentados os investimentos anuais associados a cada alternativa de intervenção analisada.

Quadro 33 - Investimento anual associado a cada alternativa de intervenção

Alternativa	Investimento anual associado (€)
A₀	0
A₁	100 000
A₂	135 000
A₃	160 000

A par do investimento anual associado a cada alternativa foi também calculado o orçamento anual disponível para implementar a alternativa considerada no final do planeamento tático. Este resulta do valor total faturado com o abastecimento de água subtraído dos custos operacionais, custos com pessoal, amortizações e gastos com energia.

O valor total faturado com a venda de água foi calculado tendo em conta os consumos medidos associados a cada tarifa (i.e., doméstica, não doméstica, instituições e consumos próprios) para cada um dos meses.

Os custos operacionais envolvem os custos de manutenção relativos à reparação de avarias assim como os custos relativos ao tratamento da água. Estes custos foram disponibilizados pela EG.

Como referido em 4.1, a zona de abastecimento em estudo é parte integrante do sistema de abastecimento do concelho do Barreiro, gerido na integra pela CMB. Os custos com o pessoal e as amortizações são afetos ao conjunto das zonas de abastecimento, não sendo facilmente deduzíveis os custos com pessoal e amortizações referentes apenas a uma das zonas. Neste sentido, e de uma forma simplificada, calcularam-se os custos com o pessoal e as amortizações para a zona em estudo proporcionalmente face aos clientes afetos.

Os custos com a energia foram calculados, de uma forma simplificada, através de um custo por metro cúbico de água fornecida à rede de 0,115€/m³, cedido pela EG.

No Quadro 34 é apresentado o orçamento anual disponível.

Quadro 34 –Orçamento disponível

Valor total faturado (€/ano)	Custos operacionais (€/ano)	Custos com pessoal (€/ano)	Amortizações (€/ano)	Energia (€/ano)	Orçamento disponível (€/ano)
420 113	17 759	77 654	141 960	82 300	100 440

Feita a análise futura das alternativas de intervenção, aplicou-se o método multicritério *AWARE Plan* de forma a ordenar as alternativas e decidir a melhor solução, ou seja, a alternativa que garante o melhor equilíbrio entre desempenho, risco e custo. Para tal, e associado a cada alternativa, foi calculada a métrica C_2 - custo de investimento. A utilização desta métrica na ordenação preferencial das alternativas pretende ter em consideração o esforço financeiro associado a cada alternativa e, conseqüentemente, ao desempenho das mesmas.

A aplicação do método *AWARE Plan* é descrita no subcapítulo seguinte.

4.10.3. ORDENAÇÃO PREFERENCIAL DAS ALTERNATIVAS DE INTERVENÇÃO

A ordenação preferencial das alternativas de intervenção é um problema de decisão multicritério, onde as alternativas têm que ser comparadas entre si de forma a decidir a melhor solução, ou seja, a alternativa que garante o melhor equilíbrio entre desempenho, risco e custo (Alegre *et al.*, 2011). Para tal, foi utilizado o método *AWARE-Plan*, apresentado no subcapítulo 3.9, assim como o respetivo software, disponível em www.baseform.com.

Este método realiza uma normalização tendo em conta uma escala variável entre 0 e 3, onde 0 corresponde ao pior valor da métrica e o valor 3 corresponde ao melhor. Foi, portanto, necessário considerar intervalos de referência associados às diferentes métricas (cf. Quadro 15). Esta normalização foi elaborada para os resultados da avaliação de referência e das previsões de desempenho futuro de cada alternativa, apresentadas respetivamente no Quadro 31 e Quadro 32.

As métricas não têm todas a mesma importância e, por isso, são definidos coeficientes de ponderação associados a cada métrica, tendo em conta uma escala constituída por cinco classes: *very low* (0,50); *low* (0,75); *medium* (1,0); *high* (1,5) e *very high* (2,0). No Quadro 35 apresentam-se os coeficientes de ponderação atribuídos às diferentes métricas, definidos em conjunto com os especialistas da EG.

Quadro 35 - Coeficientes de ponderação adotados

Métrica	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	C ₁	C ₂
Coeficientes de ponderação	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	0,75	1,0	0,75	0,75	1,5	2,0

Legenda: **P₁** = índice de valor infraestrutural; **P₂** = reabilitação da rede; **P₃** = perdas reais de água em ramais; **P₄** = ineficiência na utilização dos recursos hídricos; **P₅** = água não medida; **P₆** = pressão mínima acima da referência; **P₇** = excesso de energia fornecida à rede; **R₁** = tempo de falha devido a intervenções em condutas; **R₂** = tempo de falha devido a intervenções em ramais; **R₃** = avarias em condutas; **R₄** = intervenções em ramais; **R₅** = reclamações; **C₁** = custos operacionais; **C₂** = custos de intervenção;

Com recurso ao software *AWARE-Plan*, utilizando a normalização descrita anteriormente e os coeficientes de ponderação constantes no Quadro 35, obteve-se a ordenação final das alternativas, presente na Figura 16.

Figura 16 - Ordenação final das alternativas, em diferentes instantes do período de análise

	2016	2020	2025	2030	2035	Global rank	
A3	1.68	1.76	1.9	1.99	2.06	1.88	#1
A2	1.68	1.71	1.79	1.87	1.93	1.80	#2
A1	1.68	1.71	1.76	1.79	1.82	1.75	#3
A0	1.68	1.51	1.39	1.31	1.23	1.42	#4

Estes resultados permitem constatar que a melhor alternativa é a A₃ seguida da A₂ e a pior é a A₀.

O *software* permite também verificar a classe qualitativa (bom, satisfatório e insatisfatório) atribuída a cada métrica nos diferentes instantes do período de análise, através do código de cores. Nas figuras seguintes estão ilustradas as classes qualitativas atribuídas a cada métrica bem como a ordenação preferencial das alternativas, para o horizonte de planeamento tático (2020) e estratégico (2035). É de salientar que nas Figura 17 e 18, a dimensão dos círculos representa a importância relativa das métricas (coeficientes de ponderação), e quanto maior é o círculo maior é o peso atribuído à métrica.

Figura 17 - Resultados obtidos com o método *AWARE-Plan* para as diferentes métricas no ano 2020

	C1	C2	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	R1	R2	R3	R4	R5	Global rank (2020)	
A3	2.14	1.00	0.98	2.67	1.48	1.83	1.64	2.23	2.45	1.85	2.06	1.84	1.00	2.00	1.76	#1
A2	2.07	1.30	0.92	2.33	1.30	1.72	1.51	2.23	2.45	1.79	1.99	1.75	1.00	1.94	1.71	#2
A1	2.02	2.00	0.88	2.17	1.20	1.65	0.99	2.23	2.45	1.76	1.97	1.72	1.00	1.90	1.71	#3
A0	1.50	3.00	0.77	0.00	1.00	1.42	0.91	2.17	2.40	1.65	1.89	1.55	1.00	1.76	1.51	#4

Figura 18 - Resultados obtidos com o método *AWARE-Plan* para as diferentes métricas no ano 2035

	C1	C2	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	R1	R2	R3	R4	R5	Global rank (2035)	
A3	2.36	1.00	2.02	2.67	2.03	2.15	2.13	2.23	2.45	2.06	2.28	2.11	1.60	2.24	2.06	#1
A2	2.23	1.46	1.30	2.33	1.73	2.00	1.98	2.23	2.45	1.93	2.15	1.96	1.56	2.10	1.93	#2
A1	2.11	2.03	0.98	2.17	1.46	1.82	1.40	2.23	2.45	1.84	2.05	1.83	1.17	2.00	1.82	#3
A0	1.00	3.00	0.52	0.00	1.00	0.94	0.71	1.64	2.12	1.15	1.51	1.00	1.00	1.16	1.23	#4

A análise destes resultados reforça a ideia de que, em termos de desempenho e risco, a melhor alternativa é a A₃ seguida da A₂ e a pior é a A₀.

De seguida realizou-se uma análise de sensibilidade, com o objetivo de avaliar a variação dos resultados obtidos pela aplicação do método de agregação multicritério face a variações em parâmetros específicos (i.e., coeficientes de ponderação) do método utilizado. Na Figura 19 são apresentados os resultados obtidos, considerando coeficientes de ponderação das métricas iguais entre si.

Figura 19 - Análise com o *AWARE-Plan* utilizando o peso igual em todas as métricas

	2016	2020	2025	2030	2035	Global rank	
A3	1.68	1.80	1.94	2.03	2.10	1.91	#1
A2	1.68	1.74	1.81	1.89	1.96	1.82	#2
A1	1.68	1.71	1.76	1.79	1.82	1.75	#3
A0	1.68	1.50	1.39	1.29	1.20	1.41	#4

Verifica-se que a ordenação se mantém inalterada face à ordenação considerando os pesos constantes no Quadro 35. A melhor alternativa continua a ser a A_3 seguida da A_2 e a pior a A_0 . Através da comparação da Figura 16 com a Figura 19 conclui-se que a utilização dos coeficientes do Quadro 35 tem uma influência “negativa” nas alternativas A_3 e A_2 (i.e., a consideração destes coeficientes leva a um *global rank* inferior). Na alternativa A_1 , em contrapartida, os coeficientes não levam à alteração do resultado final. Em relação à alternativa A_0 , estes coeficientes de ponderação têm uma influência “positiva” para o resultado final (i.e., a consideração destes coeficientes leva a um *global rank* superior).

Efetuuou-se também uma análise considerando apenas as métricas das dimensões “Custo” e “Desempenho”, retomando a utilização dos coeficientes de ponderação do Quadro 35. O resultado da ordenação preferencial das alternativas é apresentado na Figura 20.

Figura 20 – Análise com o *AWARE-Plan* considerando as métricas das dimensões "custo" e "desempenho"

	2016	2020	2025	2030	2035	Global rank	
A3	1.69	1.76	1.90	1.99	2.05	1.88	#1
A2	1.69	1.71	1.79	1.87	1.93	1.80	#2
A1	1.69	1.72	1.78	1.81	1.83	1.77	#3
A0	1.69	1.48	1.37	1.31	1.25	1.42	#4

Verifica-se que a ordenação se mantém inalterada face às ordenações anteriores. A melhor alternativa continua a ser a A_3 seguida da A_2 e a pior a A_0 . Através da comparação da Figura 16 com a Figura 20 conclui-se que a dimensão do risco não tem influência no resultado final das alternativas A_3 , A_2 e A_0 . Em contrapartida, na alternativa A_1 , a consideração da dimensão do risco tem uma influência “negativa” (i.e., a consideração desta dimensão na análise conduz a um *global rank* inferior).

De forma homóloga, procedeu-se à análise considerando apenas as métricas das dimensões do “Desempenho” e do “Risco”. O resultado da ordenação preferencial das alternativas é apresentado na Figura 21.

Figura 21 - Análise com o AWARE-Plan considerando as métricas das dimensões "desempenho" e "risco"

	2016	2020	2025	2030	2035	Global rank	
A3	1.60	1.84	2.00	2.11	2.18	1.95	#1
A2	1.60	1.73	1.80	1.89	1.97	1.80	#2
A1	1.60	1.62	1.69	1.72	1.75	1.68	#3
A0	1.60	1.27	1.18	1.08	0.98	1.22	#4

Verifica-se que a ordenação se mantém inalterada face às anteriores, pelo que a melhor alternativa continua a ser a A₃ seguida da A₂ e a pior a A₀. Através da comparação da Figura 16 com a Figura 21 conclui-se que a dimensão do custo tem influência “negativa” no resultado final da alternativa A₃ (i.e., a consideração desta dimensão na análise leva a um *global rank* inferior). Em relação à alternativa A₂, a consideração da dimensão do custo não tem influência no resultado final. Em contrapartida, nas alternativas A₁ e A₀, a dimensão do custo tem uma influência “positiva” para o resultado final (i.e., a consideração desta dimensão leva a um *global rank* superior).

Por fim, procedeu-se à análise considerando apenas as métricas das dimensões “Risco” e “Custo”. O resultado da ordenação preferencial das alternativas é apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Análise com o AWARE-Plan considerando as métricas das dimensões "custo" e "risco"

	2016	2020	2025	2030	2035	Global rank	
A1	1.80	1.83	1.85	1.87	1.91	1.85	#1
A2	1.80	1.67	1.76	1.82	1.87	1.78	#2
A3	1.80	1.64	1.72	1.79	1.85	1.76	#3
A0	1.80	1.93	1.77	1.69	1.60	1.76	#4

A partir da análise da Figura 22 conclui-se que a não consideração da dimensão “Desempenho” altera a ordenação final das alternativas. Neste caso, a melhor alternativa passa a ser a A₁, seguida da A₂ e a pior continua a ser a A₀. Através da comparação da Figura 16 com a Figura 22 conclui-se que a dimensão “Desempenho” tem influência “positiva” no

resultado final das alternativas A_3 e A_2 (i.e., a consideração desta dimensão na análise leva a um *global rank* superior). Em contrapartida, nas alternativas A_1 e A_0 , a dimensão do desempenho tem uma influência “negativa” para o resultado final (i.e., a consideração desta dimensão leva a um *global rank* superior).

4.10.4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Do ponto de vista técnico, a alternativa A_3 é a que exhibe melhor resultado, apresentando a melhor relação custo-risco-desempenho (cf. Figura 16). Nesta alternativa, a totalidade das metas são alcançadas nos horizontes de planeamento tático (2022) e estratégico (2035).

A alternativa A_2 apresenta uma boa prestação ao alcançar a maioria das metas nos horizontes de planeamento tático (2022) e estratégico (2035). Contudo, como o orçamento anual disponível é de cerca 100 000€ e as alternativas A_3 e A_2 , excedem este orçamento são excluídas da análise por excederem o orçamento disponível, respetivamente em 65 e 35%. Assim, esta limitação implica a escolha da alternativa A_1 . É de salientar que a escolha da alternativa A_1 implica que diversas metas não serão alcançadas nos horizontes de planeamento considerados. Por ser considerada uma taxa de reabilitação anual de condutas de 1,5%, prevê-se que alguns componentes vão exceder o seu tempo de vida útil.

Dado que um menor investimento em reabilitação poderá resultar em problemas futuros e gastos imprevistos, perante a impossibilidade de, com orçamento disponível, se atingirem as metas estabelecidas, recomenda-se a revisão das metas do planeamento estratégico.

5. SÍNTESE E CONCLUSÕES

O presente trabalho de mestrado teve como objetivo o desenvolvimento de um plano tático de gestão patrimonial de infraestruturas aplicado à rede de distribuição de água do Lavradio, tendo em consideração as particularidades desta rede e do respetivo funcionamento.

No primeiro Capítulo apresenta-se o enquadramento geral do tema, os objetivos e a estrutura desta dissertação.

O Capítulo 2 descreve o estado de arte sobre a gestão patrimonial de infraestruturas com especial atenção à metodologia proposta por Alegre e Covas (2010) e Almeida e Cardoso (2010). Esta metodologia assenta numa abordagem multidimensional para a elaboração de planos de reabilitação e encontra-se estruturada em três níveis de decisão: estratégico; tático e operacional. Nestes níveis, a tomada de decisão deverá ter por base as avaliações do custo, do risco e do desempenho numa perspetiva de longo prazo. Assim, neste capítulo apresentaram-se os conhecimentos sobre os três níveis de decisão e sobre as avaliações do desempenho, risco e custo.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia preconizada por Alegre e Covas (2010) e Almeida e Cardoso (2010) para a elaboração de um plano tático de gestão patrimonial de infraestruturas. Neste capítulo, e com recurso a exemplos, são descritos os passos para aplicação da metodologia, nomeadamente, a definição do horizonte temporal e dos objetivos, critérios e métricas, o processo de recolha e avaliação da informação, a modelação hidráulica, o diagnóstico tático, e a identificação, desenvolvimento e ordenação de alternativas de intervenção, recorrendo ao software desenvolvido no âmbito do projeto AWARE-P.

O Capítulo 4 consiste na aplicação da metodologia apresentada no Capítulo 3 a um caso de estudo, nomeadamente, à rede de distribuição de água do Lavradio. A CMB, na qualidade de EG, acompanhou o desenvolvimento do trabalho através de reuniões periódicas, nas quais o aluno requereu a informação necessária, bem como expôs e viu respondidas questões relativamente ao funcionamento da rede e ao processo de planeamento. Para além destas reuniões, foram realizadas de visitas de campo a algumas das infraestruturas do caso de estudo.

O processo de planeamento tático começou com a definição do horizonte temporal do plano. De seguida, e com base nas estratégias definidas no plano estratégico de GPI, definiram-se quatro objetivos táticos. Com o acompanhamento da EG, foram definidos critérios de

avaliação e métricas para cada um destes objetivos, de forma a ser realizada uma avaliação concreta do seu cumprimento. Foram instituídas catorze métricas e respetivos valores de referência, incorporando as três dimensões da análise (i.e., desempenho, risco e custo). Por forma a realizar o diagnóstico da rede procedeu-se à recolha e avaliação da informação necessária. A informação utilizada refere-se, essencialmente, ao ano de 2016. De modo a ser possível o cálculo de algumas destas métricas, foi gerado um modelo de simulação hidráulica da rede, bem como calculado o balanço hídrico do sistema. O diagnóstico tático consistiu assim no computo de treze das catorze métricas (excluindo a métrica C_2 – Custos de investimento) e comparação com os valores de referência. Este diagnóstico revelou uma rede envelhecida, com carência de investimentos significativos em reabilitação. A percentagem de consumo não medido revelou-se bastante elevado, assim como o número de intervenções em ramais e avarias em condutas. Com base no resultado do diagnóstico, estabeleceram-se, em conjunto com a EG, as metas para os horizontes de análise considerados.

De seguida, foram ponderados três cenários divergentes e plausíveis de evolução dos consumos. No entanto, perante a impossibilidade em se definir em que prazo poderão ocorrer, optou-se por analisar apenas o cenário base.

Efetuada o diagnóstico da situação de referência, definidas as metas e os cenários de evolução de consumos, procedeu-se à identificação, desenvolvimento e análise de alternativas de intervenção que permitissem solucionar ou mitigar os problemas identificados, assim como alcançar as metas estabelecidas. Assim, para além da alternativa referência de *statu quo*, foram desenvolvidas três outras alternativas. De seguida, procedeu-se à previsão do desempenho futuro de cada destas alternativas. Esta avaliação futura teve em consideração a deterioração inexorável dos componentes e foi desenvolvida através do cômputo das métricas consideradas.

A par da previsão do desempenho futuro, foi calculado o investimento anual associado à implementação de cada uma destas alternativas, assim como o orçamento anual disponível para implementar a alternativa considerada no final do planeamento tático. Finalmente, foi calculada a métrica C_2 - custo de investimento associada a cada alternativa.

De forma a realizar-se a ordenação preferencial das alternativas de intervenção foi utilizado o método *AWARE-Plan*, assim como o respetivo software. Este método de agregação, modificado do método da soma ponderada, pontua cada uma das alternativas de intervenção com um valor numérico resultante da soma do resultado das métricas consideradas. Para tal, foi necessário normalizar o resultado da avaliação de referência, assim como o resultado da avaliação futura das diversas alternativas. De seguida, definiram-se os coeficientes de ponderação associados a cada métrica. Concluiu-se que a melhor alternativa é a A_3 , seguida da A_2 e que a pior é a A_0 .

Realizou-se também uma análise de sensibilidade, a fim de se averiguar a influência dos coeficientes de ponderação na ordenação final. Verificou-se que a ordenação permanecia inalterada.

De forma a ser averiguada a influência das dimensões do custo, risco e desempenho na ordenação final, efetuaram-se análises onde se fizeram variar estas dimensões. Concluiu-se que apenas perante a omissão da dimensão do desempenho é que se fazia variar a ordenação final, passando a alternativa A_1 a apresentar o melhor resultado, seguido da A_0 .

Face ao orçamento anual disponível, as alternativas A_3 e A_2 que permitiam cumprir com as metas estabelecidas foram excluídas da análise. Foi então escolhida a alternativa A_1 que, no entanto, não permite que sejam alcançadas diversas metas nos horizontes de planeamento considerados. Adicionalmente, foi considerada uma taxa de reabilitação anual de condutas de 1,5%, admitindo que alguns componentes vão exceder o seu tempo de vida útil.

Recomenda-se a revisão do plano estratégico por parte da CMB, visando a adequação das metas ao sistema em análise, por forma a que, com o orçamento disponível, se atinjam a maioria das metas.

No decurso do presente trabalho de mestrado foram elaborados dois artigos em conferências internacionais, nomeadamente:

1. Ferreira, B.; Carriço, N J. G. (2017). " Tactical Planning of Urban Water Infrastructures: A Case Study", 15th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, 5th-7th September, Sheffield, UK.
2. Ferreira, B.; Carriço, N J. G. (2017). "Aplicação da Gestão Patrimonial de Infraestruturas a um Caso Prático", International Congress of Engineering, 5th-7th December, Covilhã, Portugal.

No Anexo 1 apresenta-se cópia dos artigos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alegre, H. (2007). *Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água e de drenagem e tratamento de águas residuais*. Programa de investigação e programa de pós-graduação apresentados para a obtenção do título de “Habilitado para o Exercício de Funções de Coordenação de Investigação Científica”, LNEC, Lisboa.

Alegre, H. (2012). *The AWARE-P project - Infrastructure asset management of urban water services*. Muelheim Water Award, Mülheim an der Ruhr.

Alegre, H., Almeida, M. C., Covas, D., Cardoso, M. A., Coelho, S. T. (2010). *Gestão patrimonial de infra-estruturas em sistemas urbanos de água: uma metodologia estruturada*. Adaptação e sustentabilidade de serviços de abastecimento de água e de águas residuais, Pub. Associação Portuguesa de Engenharia Sanitária e Ambiental (APESB), Porto.

Alegre, H., Almeida, M. C., Covas, D., Cardoso, M. A., Coelho, S. T. (2011). *AWARE-P: uma abordagem integrada para gestão patrimonial de infraestruturas de sistemas urbanos de água*. LNEC, Lisboa.

Alegre, H., Baptista, J. M.; Cabrera Jr., E.; Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W., Parena, R. (2006). *Performance indicators for water supply services. Manual of Best Practice Series*, 2.^a Edição, IWA Publishing, London.

Alegre, H., Cabrera Jr., Merkel, W. (2008). *Performance assessment of urban infrastructure services. The case of water supply, wastewater and solid waste*. Journal of Water Supply Research and Technology – AQUA.

Alegre, H., Coelho, S. T. (2012). *Infrastructure asset management of urban water systems*. LNEC, Lisboa.

Alegre, H., Coelho, S. T., Almeida, M. C., Vieira, P. (2005). *Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição*. IRAR, Lisboa.

Alegre, H., Coelho, S. T., Leitão, J. (2012). *Gestão Patrimonial de Infraestruturas em sistemas urbanos de água*. Jornadas de Engenharia para a sociedade, investigação e inovação. Cidades e Desenvolvimento, LNEC, Lisboa.

Alegre, H., Covas, D. (2010). *Gestão patrimonial de infraestruturas de abastecimento de água: uma abordagem centrada na reabilitação*. ERSAR, Lisboa.

Almeida, M. C., Cardoso, M. A. (2010). *Gestão patrimonial de infra-estruturas de drenagem de águas residuais e pluviais: uma abordagem centrada na reabilitação*. ERSAR, Lisboa.

AMWA, CH2M Hill, NACWA, WEF. (2007). *Implementing asset management: a practical guide*.

Barata, P. (2008). *Construção de um modelo de gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento público de água*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho.

BSI PAS 55: 2004. *Asset management, Part 1: Specification for the optimized management of infrastructure assets (PAS 55-1); Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1 (PAS-55-2)*. Institute of Asset Management e British Standards Institution - Business Information.

Cardoso, M. A. (2007). *Avaliação do desempenho de sistemas de drenagem urbana*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico (IST).

Carriço, N. (2014). *Metodologia multicritério de apoio à decisão na gestão patrimonial de infraestruturas urbanas de água*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico (IST).

CMB (2015). *Plano Estratégico de Gestão Patrimonial de Infraestruturas 2015/2035*.

CMB (2016). *Regulamento dos Serviços de Abastecimento Público de Água do município do Barreiro*.

Coelho, S. T., Loureiro, D., Alegre, H. (2006). *Modelação E Análise De Sistemas De Abastecimento De Água*. ERSAR, Lisboa.

Covas, D., Monteiro, A.J., Teixeira, A.T., Cabeças, A., Barros, C., Figueiredo, D., Pena, J., Mamouros, L., Amado, M. C., Cabral, M., Brôco, N., Lopes, N., Antunes, S., Marchionni, V. (2015). *Custos de referência de infraestruturas do ciclo urbano de água, de valorização de resíduos urbanos sólidos e de proteção da orla costeira*. Relatório Final – Volume II, Instituto Superior Técnico (IST), Financiado pelo Programa Operacional para a Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (POSEUR).

Decreto-lei n.º 194/2009, de 20 de agosto. Estabelece o regime jurídico dos serviços municipais de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos.

Decreto-lei n.º 195/2009, de 20 de agosto. Altera o regime jurídico dos serviços de âmbito multimunicipal de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais e de gestão de resíduos urbanos.

Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 20 de agosto. Regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e de drenagem de águas residuais.

Duarte, P., Alegre, H., Covas, D. (2008). *Avaliação do desempenho energético em sistemas de abastecimento de água*. 13º Encontro Nacional de Saneamento Básico (ENaSB). Covilhã.

ERSAR, LNEC (2017). *Desenvolvimento e implementação de processos de gestão patrimonial de infraestruturas*. ERSAR, Lisboa.

ISO 24510: 2007. *Service activities relating to drinking water and wastewater - Guidelines for the improvement and for the assesment of the service to users*. International Organization for Standardization, Genebra.

ISO 24511: 2007. *Service activities relating to drinking water and wastewater - Guidelines for the management of drinking water utilities and for the assesment of wastewater services*. International Organization for Standardization, Genebra.

ISO 24512: 2007. *Service activities relating to drinking water and wastewater - Guidelines for the management of drinking water utilities and for the assesment of drinking water services*. International Organization for Standardization, Genebra.

Leitão, J., Coelho, S. T., Alegre, H., Cardoso, M. A., Silva, M.S., Ramalho, P., Ribeiro, R., Covas, D., Poças, A., Vitorino, D., Almeida, M. C., Carriço, N. (2016) *Moving urban water infrastructure asset management from science into practice*. Urban Water Journal.

NP ISO 31000: 2013. *Gestão do risco – Princípios e linhas de orientação*. Instituto Português da Qualidade.

Sanina, P. (2010). *Metodologia para a gestão de infraestruturas de abastecimento de água com base na avaliação de desempenho: uma abordagem integrada*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico (IST).

Sjøvold, F., Conroy, P. J., Algaard, E. (2008). *Performance assessment of urban infrastructure services. State-of-the-art in the drinking water, wastewater and solic water sectors*. COST Final scientific report of COST Action C18.

ANEXO 1

Urban Water Infrastructure Asset Management Plan: A Practical Application

Bruno Ferreira¹, Nelson J. G. Carrico^{1,2}

¹ Barreiro School of Technology, Polytechnic Institute of Setubal, Rua Américo da Silva Marinho, 2839-001 Lavradio, Portugal

²*nelson.carrico@estbarreiro.ips.pt*

ABSTRACT

This paper aims the application of the Portuguese infrastructure asset management (IAM) methodology to a case study. This methodology establishes that the IAM plan should have three distinct planning levels: strategic, tactical and operational. Each one of these levels follows a five-step structured sequence: (i) definition of objectives, assessment criteria, metrics and targets; (ii) diagnosis; (iii) plan elaboration, along with the identification, comparison and selection of alternative solutions; (iv) plan implementation; (v) plan monitoring and review. The paper will focus, mainly in steps (i) to (iii) and to the tactical level of planning. Results obtained are discussed and the main conclusions are presented.

Keywords: Infrastructure Asset Management, Performance, Planning, Urban Water Infrastructures

1 INTRODUCTION

While urban infrastructures inevitably age and deteriorate, water utilities face the challenge of keeping their systems operational, efficient and reliable. Therefore, infrastructure asset management (IAM) is of utmost importance for water utilities.

According to the Portuguese government law the country's 308 municipalities are responsible for providing water supply and sanitation services, either directly or indirectly through concessions. About 73% of the population in 243 municipalities receives water directly from municipalities (3.5 million people) or single-municipality companies established under public law (2.5 million people). 27% of the population receives water directly from companies established under private law, including 1.7 million from multi-municipal companies' majority-owned by the public company Águas de Portugal, S.A. (AdP) and 0.9 million from other municipal companies established under private law. Many municipalities do not control their sources of bulk water supply. Companies established under private law, particularly multi-municipal companies co-owned by AdP, sell water to municipalities, providing water indirectly to 53% of the population. In addition, as mentioned above, companies established under private law provide water directly to 27% of the population. Thus, a total of about 80% of the population receives water directly or indirectly from multi-municipal companies established under private law.

Many important measures have been undertaken in recent years to reverse the trend and to help equip the country's utilities with the means to redress the long-term sustainability of the existing assets. National legislation passed in 2009, effective 2013 (Decree-Law n° 194/2009), requires an IAM system in all water supply services and urban wastewater management services serving 30 000 people and over. Following this legislation, the national Water and Waste Services Regulation Authority (ERSAR), in conjunction with LNEC and the Instituto Superior Técnico of Lisbon, published two technical guides outlining an integrated IAM methodology and a set of supporting technologies [1,2].

This IAM approach was developed under the AWARE-P project (2009-2011), further developed in the scope of other R&D projects, such as iGPI (2012-2013), INFR5R12 (2013-2014), and, in a very significant way, in the TRUST EU 7th FP project (2011-2014) [3].

This methodology is a broad management process that addresses the need for a fundamental plan-do-check-act (PDCA) cycle at a utility's various decisional levels – strategic, tactical, operational – aiming at the alignment of objectives, metrics and targets, as well as effective feedback across levels. Each level is compounded of different stages (see Figure 1) and tasks.

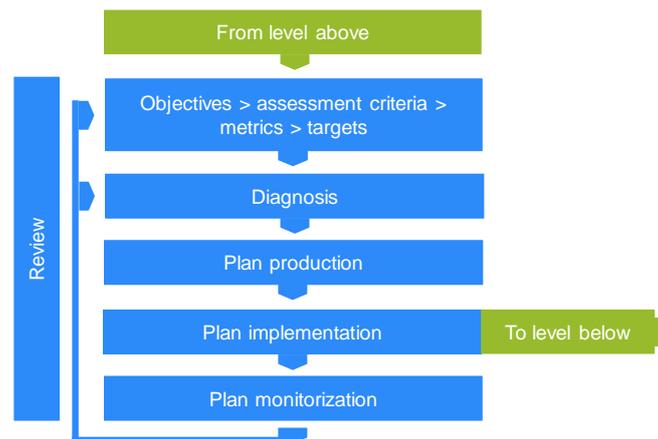


Figure 1. IAM planning process [4]

The current paper focuses a practical application on a Portuguese case study using the referred IAM methodology particularly at the tactical level. At the final, the main results are presented and discussed.

2 METHODOLOGY

Tactical planning and decision-making should be founded on the strategies and on the strategic objectives and targets. The aim of tactical planning is to define what are the intervention alternatives to implement in the medium term (typically 3 to 5 years). IAM tactical planning is not restricted to infrastructural solutions, as it should also consider the interventions related to operations and maintenance and to other non-infrastructural solutions [1,2,4].

The tactical plan consists in the five stages as depicted in Figure 1. At a first stage, the tactical objectives, assessment criteria, metrics and targets are set up to clarify the course of actions. The objectives, metrics and targets need to be coherent and aligned with the strategic level. These metrics and targets are an essential basis for establishing the diagnosis, prioritizing intervention solutions and monitoring the results. The second stage is the diagnosis, and should be carried out based on the metrics selected, for the present situation and for the planning horizon.

The third stage is plan production and is one of the most work-intensive as it encompasses the demanding engineering processes involved in identifying and developing feasible intervention alternatives, and the assessment of their responses over the analysis horizon for the metrics selected. The different alternatives need to be compared, and the one which best balances the set of metrics for the chosen objectives, over the long-term, should be selected. The diagnosis, design and analysis of

infrastructural and operational alternatives are not trivial tasks and often require the use of sophisticated modelling tools, such as EPANET [4].

The last stages of tactical planning are the implementation, monitoring and periodic review of the plan. Implementation is materialized via operational management. Monitoring and reviewing are critical for the continuous improvement process [1,2].

At each level of planning, especially at the tactical level, decision-making should consider three different points of view, specifically, cost, risk and performance.

3 CASE STUDY

3.1 Description

The case study is a sixty-year-old water supply system (WSS) located in Lisbon's metropolitan area, Portugal. The neighbourhood covers an area of 4 square kilometres and has a population of about 14,430 inhabitants living in buildings up to 11 floors. There also exists a few supermarkets, schools, a cemetery, a central hospital, some shops and industrial plants. The distribution network is about 36 km long and has about 2,180 service connections. Most pipes are made of asbestos cement ($\approx 63\%$), PVC ($\approx 34\%$) and HDPE ($\approx 3\%$) with diameters varying from 32 to 400 mm. Years of reactive interventions have led the network to become aged and deteriorated. To reverse this trend, a 2% rehabilitation rate has been considered in the recent years.

Portugal is a favoured country and major groundwater unit of the Iberian Peninsula is the huge Tagus-Sado aquifer system which constitute the water source of the studied WSS. Groundwater abstraction is made from five wells which are operated non-simultaneously. The water is treated at the water wells location through chlorine injection. After treatment, water is transported to two storage tanks and after that is raised directly to the distribution network through a group of pumps. This WSS is managed by a municipality.

3.2 Tactical objectives, assessment criteria, metrics and targets

As mentioned above, the tactical planning starts with the definition of the tactical objectives which should be aligned with the strategies and strategic objectives and targets. The strategic plan was elaborated by the municipality for the period 2015-2035 and has three strategic objectives (SO), namely, social sustainability and adaptation to users' needs (SO1), technical and economical sustainability (SO2) and environmental sustainability (SO3). The defined strategies are eight namely, improve infrastructure value index (IVI); reduce water and energy losses; improve systems' preventive maintenance, safety, and resilience; improve information's quality and availability; improve relationship between users and the municipality; improve the social economic accessibility of the services; and, improve services economical management.

Based on these strategies four tactical objectives were outlined, specifically, (1) achieve an adequate IVI; (2) achieve an efficient water and energy level; (3) promote an appropriate maintenance system; and, (4) ensure social and economic sustainability. For each of these objectives, assessment criteria were defined and adapted to system's reality. Metrics were defined for each of the previously established assessment criteria, allowing constant and accurate evaluation of each objective.

As a result, twelve metrics were established based on three different dimensions (i.e., cost, risk and performance). These metrics will be used to perform system's diagnosis, through comparison with the previously established reference values. Based on the diagnosis results for the reference situation,

and considering the medium-term investment plan, targets will be defined for the next planning years and the analysis horizon.

In Figure 2 the alignment between tactical objectives and the defined assessment criteria and metrics is shown.

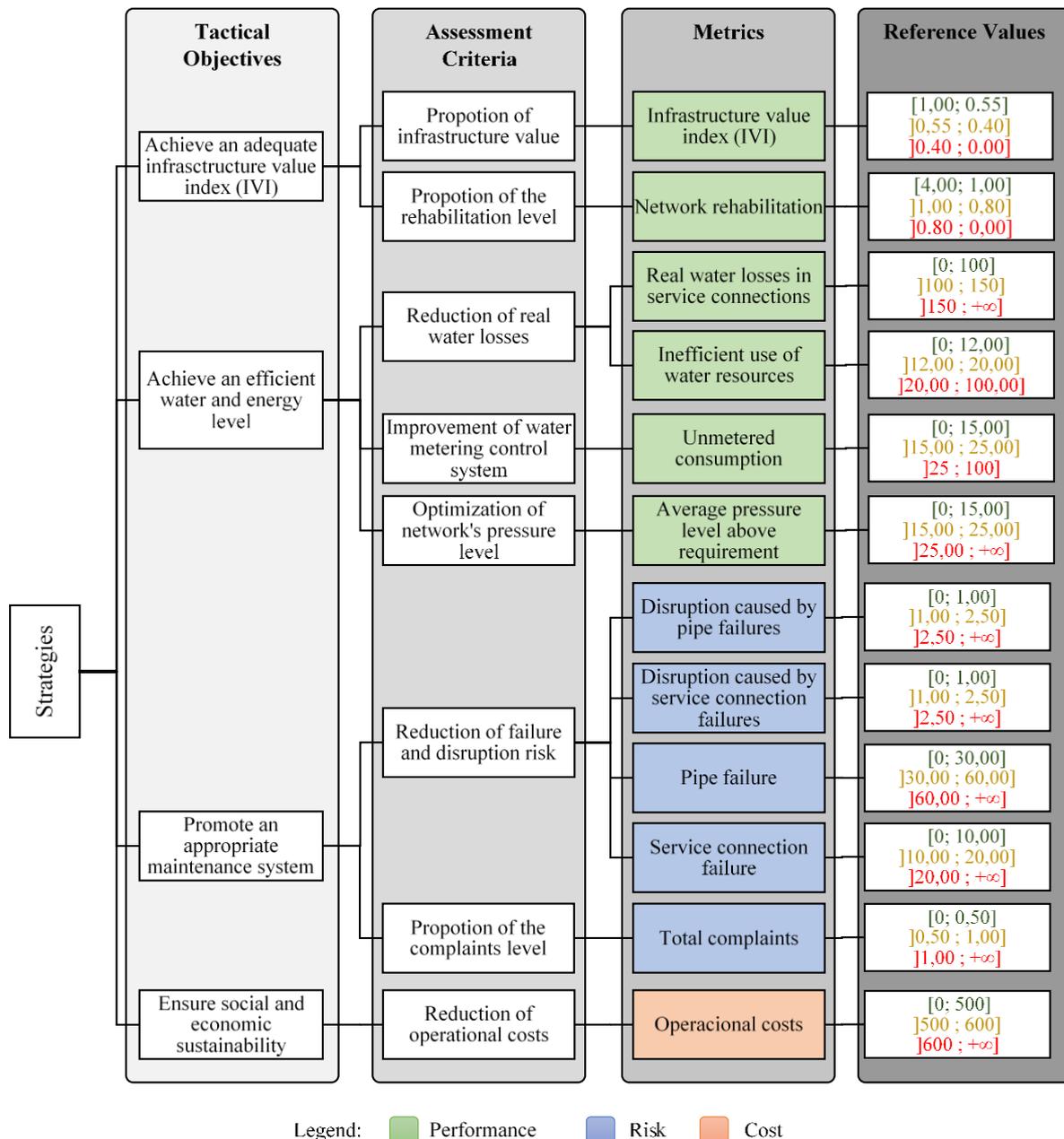


Figure 2. Alignment between tactical objectives, assignment criteria and metrics

Performance

Infrastructure value index – IVI (P1). This is a performance indicator that represents the ratio between the current value of the infrastructure and the respective replacement value.

Network Rehabilitation (P2). This performance indicator translates the percentage of the network that was rehabilitated in the last year.

Real water losses in service connections (P3) and Inefficient use of water resources (P4). Real water losses are the physical losses of water from the distribution system, including leakage and storage overflows. These losses inflate the water utility's production costs and stress water resources since they represent water that is extracted and treated, yet not used. Real water losses volume was obtained through the water balance proposed by the International Water Association (IWA). P3 indicator is given by the ratio between the real water losses and the total number of service connections. P4 is obtained through the ratio between the real water losses and the system input volume.

Unmetered consumption (P5). This metric translates the percentage of water supplied to the system that is not measured. It is given by the ratio between the unmetered water volume and system's input water volume.

Average pressure level above requirement (P6). This is a performance index that allows to check if the minimum required service pressure is supplied at each service connection. According to Portuguese legislation the minimum required service pressure is given by $100+40n$, where n is the number of floors above ground.

Risk

Disruption caused by pipe failures (R1) and Disruption caused by service connection failures (R2). According to Portuguese legislation, water utilities have a six-hour deadline to repair any system failure that may occur within the network without having to notify their users. The disruption's time extension is only considered if the six-hour period (permitted by law) is exceeded. The disruption's time extension of pipe failures is calculated with the R1 indicator - it results from the ratio between the disruption's time extension and total number of users.

R2 indicator calculates the disruption's time extension of service connection failures. It is given by the ratio between the disruption's time extension caused by service connection failures and total number of users.

Pipe failure (R3). This metric quantifies the number of interventions caused by pipe failures. It is given by the ratio between the number of interventions caused by pipe failures and the total pipe's length.

Service connection failure (R4). This metric quantifies the number of interventions caused by service connection failures. It is given by the ratio between the number of interventions caused by service connection failure and the total number service connections.

Total complaints (R5). It is possible to detect certain hydraulic dysfunctions through complaint analysis. The R5 metric is obtained through the ratio between the total number of complaints regarding network's performance and total number of users.

Cost

Operational costs (C1). Inadequate performance means an increase of the operational costs. The C1 metric is obtained through the ratio between the network related operational costs and the total network's length.

The case study integrates a mainly and well established residential area, where no significant development is expected in terms of water consumption. For that reason, scenarios of consumption evolution were not considered.

3.3 Diagnosis

Diagnosis assesses the existing system using the established metrics for performance, cost and risk dimensions [5]. So, metrics were calculated and evaluated based on the defined reference values (see Figure 1).

Most of information needed for metrics calculations were provided by the Municipality. For the metric P3 the water balance proposed by the International Water Association (IWA) was used. To compute P6 a network model in EPANET was used and to determine the minimum required service pressure a number of five floors were considered.

Based on the diagnosis results for the reference situation, and considering the medium-term investment plan, targets were defined for the tactical planning horizon (2018-2022) and the strategic analysis horizon (2035) as presented in Table 1.

Table 1. WSS diagnosis

ID	Designation	Current situation (2017)	Targets at planning horizon	
			Tactical (2022)	Strategic (2035)
P1	Infrastructure value index	0.30	0.36	0.50
P2	Network Rehabilitation	2.00	5.00	3.00
P3	Real water losses in service connections	121.65	105.0	75.00
P4	Inefficient water resource use	15.96	14.50	9.00
P5	Unmetered consumption	28.93	19.00	15.00
P6	Average pressure level above requirement	7.52	5.00	5.00
R1	Disruption caused by pipe failures	1.31	1.00	0.50
R2	Disruption caused by service connection failures	1.81	1.00	0.50
R3	Pipe failure	45.80	30.00	15.00
R4	Service connection failure	22.16	18.00	10.00
R5	Total complaints	0.63	0.30	0.10
C1	Operational costs	642.25	540.00	420.00

3.4 Plan production

To select the most adequate solution, tactical alternatives need to be established and analysed. Solutions with the potential to improve the System's performance are developed as the evaluation's results for the reference situation are considered. Four rehabilitation alternatives were considered:

A₀ - the status quo alternative (i.e., keeping operation and maintenance practices and 2% of annual rehabilitation);

A₁ - ongoing 2% of annual rehabilitation and optimization of pump operation scheme;

A₂ – maintaining the 2% of annual rehabilitation, optimization of the pump operation and renewal of the water meters;

A₃ – increasing annual rehabilitation to 5% in the following years, optimization of the pump operation and renewal of the water meters.

Table 2 presents the results for the four alternatives, within the tactical planning horizon (2022) and the analysis horizon defined at the strategic level (2035).

Table 2. Results for the considered alternatives against the defined horizons

ID	A ₀		A ₁		A ₂		A ₃	
	Tactical planning horizon (2022)	Strategic horizon (2035)	Tactical planning horizon (2022)	Strategic horizon (2035)	Tactical planning horizon (2022)	Strategic horizon (2035)	Tactical planning horizon (2022)	Strategic horizon (2035)
P1	0.34	0.44	0.34	0.44	0.34	0.44	0.44	0.71
P2	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	5.00	5.00
P3	106.67	83.27	106.67	83.27	106.67	83.27	84.12	51.70
P4	13.99	10.92	13.99	10.92	13.99	10.92	11.04	9.45
P5	17.37	11.80	17.37	11.80	12.01	10.32	12.01	10.32
P6	7.52	7.52	6.63	6.63	6.63	6.63	6.63	6.63
R1	1.15	0.90	1.15	0.90	1.15	0.90	0.91	0.56
R2	1.59	1.24	1.59	1.24	1.59	1.24	1.25	0.77
R3	40.16	31.35	40.16	31.35	40.16	31.35	31.67	19.46
R4	19.43	15.17	19.43	15.17	19.43	15.17	15.32	9.42
R5	0.55	0.43	0.55	0.43	0.55	0.43	0.44	0.27
C1	542.18	423.24	542.18	423.24	542.18	423.24	427.54	262.77

From Table 2 it is possible to conclude that alternatives A₀, A₁ and A₂ still fall short of the established targets at tactical horizon of 2022. In contrast, alternative A₃ achieve almost all the targets established. For the strategic horizon of 2035, alternatives A₀, A₁ and A₂ fail to meet all the established targets but on the other hand the alternative A₃ fulfils all the targets.

The intervention alternatives' ranking was done through a simple multicriteria decision analysis method (i.e., weighted sum). Table 3 presents the intervention alternatives ranking obtained and the investment cost associated.

Table 3. Intervention alternatives ranking through multi-criteria decision

Alternative	Rank	Investment cost associated
A ₃	1	1.9 M€
A ₂	2	0.4 M€
A ₁	3	no capital investment associated
A ₀	4	no capital investment associated

The utility's available annual budget for rehabilitation interventions is about 0,5 M€. Therefore, the intervention alternative A₃ was vetoed since it has exceeded the available budget. This budget limitation implies choosing alternative A₂ and means that the targets established for some metrics at the end of the strategic and tactical planning horizons will not be achieved.

4 CONCLUSIONS

In this paper, an application of the Portuguese infrastructure asset management methodology to a case study was presented. The IAM plan should have three distinct planning levels: strategic, tactical and operational. Each one of these levels follows a five-step structured sequence: (i) definition of objectives, assessment criteria, metrics and targets; (ii) diagnosis; (iii) plan elaboration; (iv) plan implementation; (v) plan monitoring and review. This methodology was applied to a sixty-year-old water supply system (WSS) located in Lisbon's metropolitan area, Portugal. The strategic plan was elaborated by the municipality for the period 2015-2035 and has three strategic objectives. Based on these objectives eight strategies were outlined. Considering the strategic plan four tactical objectives were defined and for each of these objectives, assessment criteria were defined and adapted to system's reality. Metrics were defined for each of the previously established assessment criteria, allowing constant and accurate evaluation of each objective. As a result, twelve metrics were established based on three different dimensions (i.e., cost, risk and performance). The metrics were calculated and evaluated based on the defined reference values to diagnose the WSS. The WSS present a low IVI, a high unmetered consumption, high level of service connection failure and high operation costs due WSS aging and degradation. Four intervention alternatives were established and evaluated. Each alternative was evaluated by multicriteria decision analysis method, based on the performance, risk and cost assessment results. The best alternative which consist in increasing annual rehabilitation to 5% in the following years, optimization of the pump operation and renewal of the water meters was discarded due annual budget limitation. So, the alternative that should be implemented consider maintaining the 2% of annual rehabilitation, pump operation scheme optimization and renewal of the water meters. After production of the tactical plan, its implementation is performed at the operational level. Tactical plan monitoring and review is required.

References

- [1] H. Alegre, D. Covas, (2010). "Infrastructure asset management of water services" (in Portuguese). Technical Guide n.16. ERSAR, LNEC, IST, Lisboa, 472 pp. (ISBN: 978-989-8360-04-5)
- [2] M. C. Almeida, M. A. Cardoso (2010). "Infrastructure asset management of wastewater and stormwater services" (in Portuguese). Technical Guide n.17. ERSAR, LNEC,IST, Lisboa (ISBN: 978-989-8360-05-2)
- [3] H. Alegre, S. T. Coelho, D. Vitorino, D. Covas (2016). "Infrastructure asset management – the TRUST approach and professional tools", *Water Science and Technology: Water Supply*, 17(3)
- [4] H. Alegre, S. T. Coelho (2012), "Infrastructure Asset Management of Urban Water Systems", *Water Supply System Analysis. - Selected Topics*, pp. 1–26, 2012 (ISBN: 978-953-51-0889-4)
- [5] M. A Cardoso, M. S. Silva, S. T. Coelho, M. C. Almeida, D. I. C. Covas (2012). "Urban water infrastructure asset management – a structured approach in four water utilities". *Water Science and Technology: Water Supply*, 66(12)



Plano Tático de Gestão Patrimonial de Infraestruturas: Caso de Estudo

Introdução

Após o final da segunda guerra mundial ocorreu um boom no investimento de construção de novas infraestruturas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais, um pouco por toda a Europa, com o objetivo de aumentar os diminutos níveis de cobertura então existentes. Passados mais de 50 anos a degradação inevitável de grande parte dessas infraestruturas origina novos desafios, de entre os quais o da sua reabilitação, que, se não for bem ponderado, as entidades gestoras (EG) poderão pôr em causa a sua sustentabilidade infraestrutural e económico-financeira [1].

A degradação das infraestruturas urbanas de água e dos respetivos componentes é um processo natural e inevitável e, à medida se aproximam do fim da sua vida útil, aumentam os custos de operação e manutenção (O&M) e diminuem a fiabilidade dos sistemas e a qualidade do serviço prestado. Assim, os técnicos das EG são confrontados com opções de renovação, de substituição ou de reforço das suas infraestruturas e necessitam de responder às questões: o quê, onde, quando e como reabilitar [2].

A gestão patrimonial de infraestruturas (GPI) é uma abordagem integrada e multidisciplinar pela qual a organização gere de modo racional as suas infraestruturas assegurando um equilíbrio entre o desempenho, o custo e o risco que lhes estão associados, durante o ciclo de vida dos seus componentes. Assim, a GPI constitui-se cada vez mais como uma atividade determinante na garantia do cumprimento dos requisitos de desempenho dos sistemas. A necessidade de manter um sistema de GPI é reforçada com a entrada em vigor dos Decretos-lei n.º 194/2009 e n.º 195/2009 ambos de 20 de agosto, relativos ao regime jurídico dos serviços municipais e multimunicipais, respetivamente, que obrigam as entidades gestoras de serviços urbanos de água que sirvam mais de 30 000 habitantes a promover e a manter um sistema de GPI (Artigo 8º, ponto 5, alínea b) do Decreto-lei n.º 194/2009).

Como tal, a ERSAR promoveu a publicação de dois guias técnicos relativos à GPI de abastecimento de água e de águas residuais e pluviais [3,4]. Nesses guias é apresentada uma metodologia que assenta em cinco passos fundamentais para a elaboração de planos de reabilitação (cf. Figura 1), estando estruturada em três níveis de decisão - estratégico, tático e operacional. Esta metodologia visa também uma gestão guiada por objetivos, especificados em critérios e métricas de avaliação, que permitem definir metas e monitorizar resultados [2,3].



Figura 1 - Fases do processo de planeamento [1]

O presente artigo apresenta a aplicação da metodologia GPI preconizada nos guias técnicos da ERSAR, através do desenvolvimento de um plano tático, aplicado a um sistema de abastecimento de água localizado na área metropolitana de Lisboa.



Metodologia

Apesar do planeamento da GPI dever ser feito nos três níveis, o plano de GPI propriamente dito corresponde ao plano de nível tático para a implementação das estratégias que se prendem com a infraestrutura. O processo de planeamento tático pretende desdobrar os objetivos e níveis de serviço estabelecidos no plano estratégico para as diferentes áreas da organização. Deste modo, do plano estratégico resultam vários planos táticos, em que um dos quais é o plano de GPI, que contém o planeamento das intervenções de reabilitação [1].

O planeamento tático não está restrito a intervenções infraestruturais, devendo também contemplar aspetos de gestão e de informação considerados relevantes para que as infraestruturas sejam adequadamente geridas [3,4]. A elaboração de um plano tático de reabilitação assenta em cinco passos fundamentais (cf. Figura 1): (i) definição de objetivos, critérios de avaliação, métricas e metas; (ii) elaboração de diagnóstico; (iii) elaboração do plano tático; (iv) implementação do plano; (v) monitorização e revisão do plano.

No primeiro passo, os objetivos táticos são definidos tendo por base as estratégias definidas ao nível estratégico. Desta forma simplifica-se o processo de articulação entre níveis de planeamento e garante-se o alinhamento dos objetivos a nível tático e estratégico. Para cada objetivo estabelecido, a EG deve definir critérios de avaliação, métricas e metas, de modo a realizar a avaliação concreta do seu cumprimento. Os critérios de avaliação são os aspetos ou as perspetivas que permitem avaliar o cumprimento dos objetivos. As métricas são variáveis específicas que permitem caracterizar o desempenho, o custo e o risco de forma quantitativa ou qualitativa. As metas são os valores que se pretendem atingir para os objetivos num dado horizonte temporal [1,3].

No segundo passo realiza-se o diagnóstico tático que consiste na identificação das disfunções que indiciam a existência de problemas sob determinados pontos de vista considerados relevantes, nomeadamente, hidráulico, ambiental, estrutural e operacional. O diagnóstico tático compreende: (i) a identificação, recolha e avaliação da informação, e (ii) a avaliação do desempenho, do custo e do risco dos sistemas. Uma vez identificada e avaliada a informação necessária e disponível para proceder ao diagnóstico e caracterizadas as lacunas de informação, passa-se à avaliação dos cenários atuais e futuros da resposta do sistema para a situação de *statu quo* (i.e., aquela em que se pressupõe a manutenção das práticas correntes de O&M) [3,4]. A avaliação do desempenho, custo e risco é realizada através do cálculo das métricas e posterior comparação com as metas definidas, para a situação de referência e para o horizonte de planeamento. Com base nos resultados da avaliação do sistema urbano de água desenvolvem-se alternativas de intervenção com potencial para melhorar o desempenho do sistema e cumprir com as metas estabelecidas, tendo em conta os cenários de desenvolvimento futuro.

Após a avaliação comparativa das soluções, e tendo em conta a relação entre o desempenho, o custo e risco, pode-se proceder à seleção das opções a implementar e à elaboração do plano de ação correspondente.

Os últimos passos do planeamento tático são a implementação, monitorização e revisão do plano. A implementação é materializada através do desenvolvimento e concretização de planos operacionais de reabilitação e de expansão. A fase de monitorização do plano permite, através da avaliação dos sistemas, identificar eventuais desvios às metas estabelecidas e verificar o grau de implementação de cada uma das ações definidas. As correções necessárias são realizadas na fase de revisão do plano.

Descrição física do caso de estudo

O caso de estudo é um sistema de abastecimento de água localizado na área metropolitana de Lisboa. Trata-se de uma zona maioritariamente urbana com cerca de 14430 habitantes numa área de 4 km² (3580 hab./km²). Quanto à tipologia dos edifícios e funcionalidade dos mesmos a zona é bastante heterogénea, variando desde moradias unifamiliares até edifícios residenciais com onze pisos, existindo um complexo fabril adjacente, um hospital central, um cemitério e algum pequeno comércio. O sistema de abastecimento é constituído por cerca de 36km de condutas, sendo 5km de adutoras e os restantes 31km de distribuição. A rede de distribuição é do tipo mista conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2 - Configuração do sistema de abastecimento de água em estudo

O sistema de abastecimento de água em estudo tem mais de sessenta anos, o que, aliado a uma gestão reativa, levou a uma repartição heterogénea de materiais, composta por condutas do sistema original, condutas de expansões da rede ou ainda de reparações efetuadas na sequência de roturas. O material predominante é o fibrocimento ($\approx 63\%$), PVC ($\approx 34\%$) e PEAD ($\approx 3\%$), com diâmetros a variar entre 32 e 400 mm.

O município onde se insere o caso de estudo está localizado em cima do aquífero da bacia sedimentar Tejo-Sado e como tal é autossuficiente no abastecimento de água, extraindo a totalidade das suas necessidades de água para consumo humano e indústria exclusivamente de captações subterrâneas. A água é extraída através de 5 furos não simultâneos, sendo posteriormente tratada com injeção de cloro e armazenada em dois reservatórios apoiados junto às captações. Daqui é bombeada para a rede através de um grupo eletrobomba.

O sistema de abastecimento de água em estudo é gerido na sua totalidade pelo município.

Definição de objetivos táticos, critérios de avaliação, métricas e metas

Como já foi referido, o planeamento tático inicia-se com a definição dos objetivos táticos, devendo estes estar alinhados com as estratégias definidas no nível estratégico. Este alinhamento permite garantir o alinhamento dos objetivos a nível tático e estratégico.

No plano estratégico da EG, para o período 2015-2035, constam três objetivos estratégicos (OE), nomeadamente, OE1 - Sustentabilidade técnica e económica, OE2 - Sustentabilidade ambiental e OE3 - Sustentabilidade social e adequação às necessidades dos utilizadores. As estratégias (E) inscritas no plano estratégico eram quatro estratégias, designadamente, E1 - Melhorar o valor infraestrutural adequado, E2 - Adequar o nível de perdas de água e consumo de energia, E3 - Melhorar a manutenção preventiva e E4 - Melhorar a gestão económica e a obtenção de fundos.

Assim, os objetivos táticos foram alinhados com as estratégias definidas, resultando nos seguintes quatro objetivos táticos (OT), OT1 - Atingir um valor infraestrutural adequado, OT2 - Atingir um nível de perdas de água e consumo de energia adequado, OT3 - Promover a manutenção adequada do sistema e OT4 - Promover a gestão económica e a obtenção de fundos.

Para cada um dos objetivos táticos foram definidos critérios de avaliação, constituídos por aspetos ou perspetivas com as quais é possível avaliar as ações que executam os objetivos. Para avaliar o cumprimento dos respetivos objetivos táticos foram definidas métricas com base nas três dimensões da análise (i.e., custo, risco e desempenho) e associadas a cada um



dos critérios de avaliação. O cálculo das métricas e a sua comparação com os valores de referência estabelecidos constituem uma parte fundamental do diagnóstico tático. Com base no resultado do diagnóstico para a situação de referência, e considerando o plano de investimentos a médio prazo, serão definidas as metas juntamente com a EG, para os horizontes de planeamento tático e estratégico.

Na Figura 3 apresentam-se as métricas de avaliação e respetivos valores de referência, bem como os critérios e objetivos que lhes estão associados.

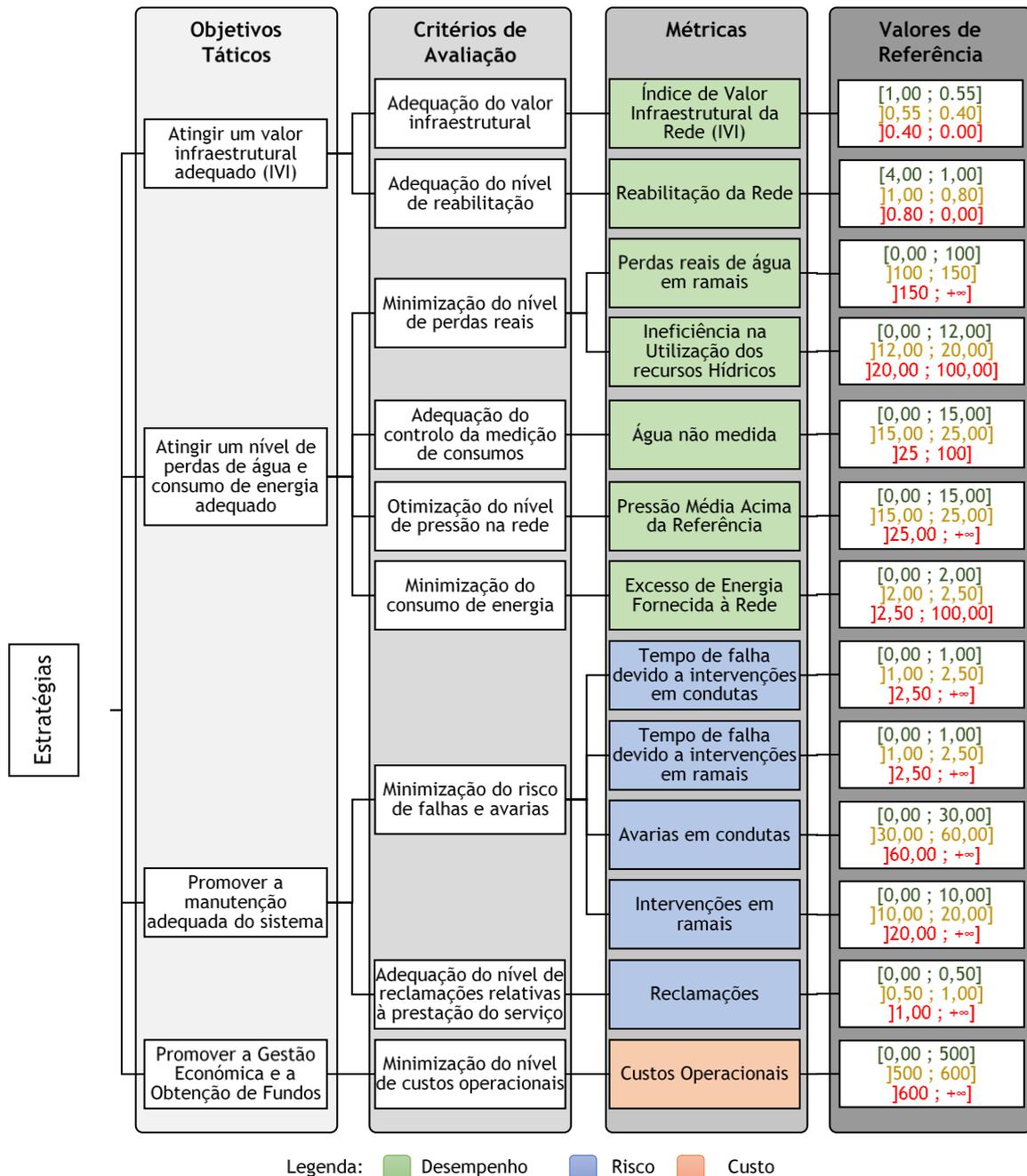


Figura 3 - Objetivos, critérios e métricas de avaliação consideradas

Em seguida explica-se sucintamente cada uma das 13 métricas de avaliação constates na Figura 3.



Desempenho

Índice de valor infraestrutural da rede - IVI (D1). Este indicador é obtido através da razão entre o valor patrimonial atual da infraestrutura e o corresponde valor de substituição. O valor patrimonial atual da infraestrutura foi obtido através da depreciação do valor dos ativos, ao longo dos respetivos anos em serviço. O valor de substituição dos ativos foi obtido com recurso a funções de custo [5]. Este indicador tem como objetivo mostrar o nível de conservação da infraestrutura, mostrando a necessidade ou não de intervir em determinado segmento, assim como se há um investimento excessivo ou insuficiente.

Reabilitação da rede (D2). O índice de reabilitação da rede consiste na percentagem da rede reabilitada no ano da avaliação do sistema. Foi obtido através dos registos das ordens de trabalho, para o período em análise.

Perdas reais de água em ramais (D3) e Ineficiência na utilização dos recursos hídricos (D4). As perdas reais da rede consistem nas perdas físicas de água do sistema em pressão, até ao contador do cliente. É contabilizado o volume de perdas através de todos os tipos de fissuras ou roturas em ramais e condutas bem como o volume de perdas através de extravasamentos. Estas perdas inflacionam os custos de produção da água, colocando os recursos hídricos em maior *stress*. Ou seja, consiste no volume de água captado, tratado e bombeado, sem que, no entanto, seja utilizado. O valor das perdas reais foi calculado através do balanço hídrico do sistema, descrito no Guia Técnico 1 [6] e conforme as recomendações da IWA (Internacional Water Association) [7]. O indicador D3 é dado pela razão entre as perdas reais de água e o número de ramais domiciliários. O indicador D4 obtém-se através do quociente entre as perdas reais de água e o volume total fornecido.

Água não medida (D5). Esta métrica traduz a percentagem de água fornecida ao sistema, cujo consumo não é medido. É dada pela razão entre o volume de água não medido, obtido através do balanço hídrico, e o volume total fornecido.

Pressão média acima da referência (D6). Este índice de desempenho permite averiguar o excesso de pressão que está a ser fornecida à rede, assim como garantir que a pressão de serviço é garantida em qualquer dispositivo de utilização predial. É obtido pela média da diferença de pressão em cada nó e a pressão de serviço. De acordo com Artigo 21º do Decreto Regulamentar n.º 23/95, de 23 de agosto, a pressão de serviço é dada por $100+40n$, sendo n o número de pisos acima do solo, tendo-se no presente caso de estudo considerado igual a cinco.

Excesso de energia fornecida à rede (D7). A potência fornecida à rede inclui sempre uma parcela de energia para cobrir o caudal que será bombeado, mas perdido através de fugas e fissuras. Este índice quantifica assim o excesso teórico de energia que é fornecido ao sistema e obtém-se através do quociente entre a energia total fornecida à rede e a energia mínima necessária para o abastecimento de Água. A energia total fornecida à rede foi obtida através das leituras do contador elétrico instalado no grupo eletrobomba. A energia mínima necessária para o abastecimento corresponde ao somatório das potências mínimas requeridas em cada nó, de modo a satisfazer os respetivos consumos e os requisitos mínimos de pressão [8].

Risco

Tempo de falha devido a intervenções em condutas (R1) e Tempo de falha devido a intervenções em ramais (R2). Segundo o Artigo 10º Regulamento Municipal de Abastecimento de Água e Drenagem de Águas Residuais, o abastecimento de água aos utilizadores deve ser assegurado pela entidade gestora de forma contínua, podendo ser interrompido caso se proceda a trabalhos de reparação ou substituição de ramais de ligação bem como de componentes pertencentes à rede pública de distribuição/adução. O indicador R1 é obtido pela razão entre o número total de horas de falhas no serviço de abastecimento devido a intervenções na rede de adução/distribuição e o número total de clientes ativos. O indicador R2 obtém-se através do quociente entre o número total de horas de falhas resultantes da reparação ou substituição de ramais de ligação e o número total de clientes ativos.



Avarias em condutas (R3). Esta métrica quantifica o número de avarias, causadas por roturas, na rede de distribuição/adução e é obtida pelo quociente entre o número total de avarias e o comprimento total de condutas.

Intervenções em ramais (R4). Esta métrica permite quantificar o número de intervenções em ramais. É calculada pela razão entre o número de intervenções em ramais (reparação, remodelação, substituição) e o número total de ramais.

Reclamações (R5). É possível detetar certas disfunções que indiciam a existência de problemas hidráulicos através da análise das reclamações dos utilizadores. A métrica R5 é obtida pelo quociente entre o número total de reclamações devido ao funcionamento da rede e o número total de clientes ativos.

Custo

Custos operacionais (C1). A degradação do desempenho do sistema de adução e de distribuição tem como consequência o agravamento dos custos operacionais nas atividades de operação e de manutenção. A métrica C1 é obtida pelo quociente entre os custos operacionais relativos à exploração do sistema (i.e., tratamento de água, reparação de avarias) e o comprimento total de condutas.

Diagnóstico tático

Como referido anteriormente, o diagnóstico tático consiste na avaliação do sistema de abastecimento de água com finalidade de se identificarem disfunções e problemas sob diferentes pontos de vista. Para tal, procede-se ao cômputo das treze métricas anteriormente descritas e compara-se com os valores de referência (cf. Figura 3). A informação necessária para o cálculo das métricas foi fornecida pela EG. Com base nos resultados obtidos para a situação de referência, nos requisitos legais, contratuais ou regulatórios existentes e considerando o plano de investimentos a médio prazo (i.e., capacidade real de intervir, em termos dos recursos disponíveis ou disponibilizáveis) estabelecem-se as metas para o ano horizonte do plano tático (2022) e para o ano horizonte do plano estratégico (2035). Na Tabela 1 é apresentado o resultado do diagnóstico tático e o valor das metas adotadas.

Tabela 1 - Resultados obtidos para a situação de referência e metas estabelecidas

ID	Designação	Situação referência (2017)	Metas no horizonte de planeamento	
			Tático (2022)	Estratégico (2035)
P1	<i>Índice de valor infraestrutural da rede - IVI</i>	0,34	0,40	0,45
P2	<i>Reabilitação da rede</i>	1,65	2,00	2,00
P3	<i>Perdas reais de água em ramais</i>	144,76	132,98	100,00
P4	<i>Ineficiência na utilização dos recursos hídricos</i>	15,3	14,43	12,00
P5	<i>Água não medida</i>	28,93	25,26	15,00
P6	<i>Pressão média acima da referência</i>	11,52	11,52	11,52
P7	<i>Excesso de energia fornecida à rede</i>	1,10	1,10	1,10
R1	<i>Tempo de falha devido a intervenções em condutas</i>	1,41	1,30	1,00
R2	<i>Tempo de falha devido a intervenções em ramais</i>	1,08	1,06	1,00
R3	<i>Avarias em condutas</i>	39,89	37,29	30,00
R4	<i>Intervenções em ramais</i>	31,10	25,55	10,00
R5	<i>Reclamações</i>	0,56	0,54	0,50
C1	<i>Custos operacionais</i>	505,95	504,38	500,00



Aproximadamente 58% das condutas pertencem ao sistema de abastecimento em estudo foram construídas em 1959, tendo, portanto, 58 anos de atividade. O resultado para índice de valor infraestrutural do sistema revela uma rede envelhecida e que necessita de investimentos significativos em reabilitação. O indicador da reabilitação da rede revela a gestão proativa da EG, prática recente veio contrariar a gestão reativa que era mantida.

As perdas reais no sistema, dada a idade do mesmo, apresentam um valor satisfatório, sendo, no entanto, passíveis de alguma redução.

O indicador da água não medida revelou-se bastante insatisfatório. Devido à inexistência de contadores nos espaços verdes, não existe controlo nem medição da água que é utilizada para rega destes espaços.

Os índices P6 e P7 mostram que a rede está otimizada em termos energéticos, não existindo necessidade de se intervir neste campo.

Os indicadores R1, R2, R3 e R4 apresentam um desempenho insatisfatório. Dada a idade da rede é espetável que o número de avarias e intervenções seja relevante, assim como o respetivo tempo de falha no abastecimento.

Os indicadores R5 e C1 apresentam resultados satisfatórios, muito próximos das metas estabelecidas.

Estabelecimento de cenários de evolução de consumos

Um cenário pode ser definido como uma possível trajetória (desejável ou indesejável) resultante de um conjunto de fatores condicionantes não controláveis pelo decisor. A consideração na análise de cenários permite lidar com a incerteza acerca do futuro, tanto a nível de evolução de consumos como a nível da configuração e gestão do sistema de abastecimento de água [1]. O sistema em estudo enquadra-se numa zona maioritariamente habitacional consolidada, não se prevendo qualquer evolução significativa ao nível dos consumos de água. Por esta razão, não foram considerados cenários de evolução dos consumos nem outros tipos de cenários.

Definição das alternativas de intervenção

Uma vez efetuado o diagnóstico da situação de referência procede-se à identificação, desenvolvimento e análise de alternativas de intervenção que permitem solucionar ou mitigar os problemas identificados na fase de diagnóstico, bem como cumprir com as metas e os requisitos estabelecidos.

Dado que a rede já se encontra otimizada a nível energético (i.e., dimensionamento ótimo dos diâmetros das condutas tendo em conta o princípio de energia mínima), a reabilitação da rede consistirá na substituição das condutas por outras de características idênticas, mas de material mais recente. Uma possível forma de colmatar o desempenho do sistema face à água não medida passa pela instalação de contadores nos espaços verdes. Os ramais dispõem de um tempo de vida útil de 20 anos, inferior aos 50 anos associados às condutas. Torna-se assim necessária a criação de um plano de reabilitação de ramais, onde se pretendem reabilitar 5% dos ramais por ano. Os contadores, quando operam excedendo o seu tempo de vida útil de 12 anos, exibem problemas mecânicos que induzem erros nas leituras e, conseqüentemente, prejuízo económico. Neste sentido é essencial a manutenção de um plano de renovação do parque de contadores.

Assim, as alternativas de intervenção consideradas foram as seguintes:

A₀: Situação de *statu quo*, que corresponde a não serem realizadas quaisquer intervenções de reabilitação na rede de distribuição, mantendo-se as atuais práticas reativas de O&M (sem custo associado);

A₁: Adoção de uma taxa de reabilitação anual de 2% para condutas e de 5% para ramais, renovação do parque de contadores a cada 12 anos e instalação de 52 contadores em espaços verdes nos próximos 5 anos (investimento anual de 135.000€);

A₂: Adoção de uma taxa de reabilitação anual de 1,5% para condutas e de 5% para ramais, renovação do parque de contadores a cada 12 anos e instalação de 52 contadores em espaços verdes nos próximos 15 anos (investimento anual de 100.000€);



Previsão do desempenho futuro das alternativas de intervenção

Tabela 2 - Previsão do desempenho futuro de cada alternativa

ID	A ₀		A ₁		A ₂		Metas	
	Horizonte de planeamento		Horizonte de planeamento		Horizonte de planeamento		Horizonte de planeamento	
	Tático (2022)	Estratégico (2035)	Tático (2022)	Estratégico (2035)	Tático (2022)	Estratégico (2035)	Tático (2022)	Estratégico (2035)
P1	0,31	0,22	0,37	0,44	0,36	0,39	0,40	0,45
P2	0,00	0,00	2,00	2,00	1,50	1,50	2,00	2,00
P3	160,84	226,19	133,01	110,82	138,74	125,68	132,98	100,00
P4	17,00	23,91	14,06	11,71	14,66	13,28	14,43	12,00
P5	32,14	45,20	17,83	14,86	25,09	22,73	25,26	15,00
P6	12,80	18,00	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52
P7	1,22	1,72	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
R1	1,57	2,20	1,30	1,08	1,35	1,22	1,30	1,00
R2	1,20	1,69	0,99	0,83	1,04	0,94	1,06	1,00
R3	44,32	62,33	36,65	30,54	38,23	34,63	37,29	30,00
R4	34,56	48,59	24,79	12,87	26,79	17,44	25,55	10,00
R5	0,63	0,89	0,52	0,44	0,55	0,49	0,54	0,50
C1	562,17	790,55	464,87	387,34	484,90	439,26	504,38	500,00

A partir da Tabela 2 é possível concluir que a melhor alternativa de intervenção, do ponto de vista do desempenho, é a A₁. Nesta alternativa, a vasta maioria das metas são alcançadas no horizonte de planeamento considerado. A alternativa A₂ não cumpre com algumas metas no horizonte de planeamento considerado e, ao considerar uma taxa de reabilitação anual de condutas de 1,5%, admite que alguns componentes vão exceder o seu tempo de vida útil, podendo comprometer o sistema a longo prazo. A alternativa A₀, por não serem realizadas quaisquer intervenções de reabilitação na rede de distribuição, é a que apresenta pior desempenho.

Seleção e ordenação preferencial das alternativas de intervenção

A seleção e ordenação preferencial das alternativas de intervenção foi realizada com recurso a uma análise multicritério simples (i.e., soma ponderada). Na Tabela 3 é apresentado o resultado da ordenação realizada.

Tabela 3 - Ordenação preferencial das alternativas de intervenção através de uma análise multicritério

Alternativa	Ordenação	Investimento anual associado (€)
A ₁	1	135.000
A ₂	2	100.000
A ₀	3	0

O orçamento anual disponível resulta do valor total faturado com o abastecimento de água subtraído dos custos operacionais, custos com pessoal, amortizações, juros e gastos com energia. Aproximadamente, este perfaz 100.000€ anuais. Neste sentido, a alternativa A₁, que apresentava o melhor desempenho, é excluída da análise por exceder o orçamento disponível. Esta limitação no orçamento implica a escolha da alternativa A₂, no entanto, algumas metas não serão alcançadas nos horizontes de planeamento previamente considerados. Adicionalmente, considera uma taxa de reabilitação anual de condutas de 1,5%, admitindo assim que alguns componentes vão exceder o seu tempo de vida útil.



Conclusão

O presente estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um plano tático de gestão patrimonial de infraestruturas de uma rede de distribuição de água. Para este efeito, foram estabelecidos quatro objetivos táticos com base nas estratégias definidas pela EG no plano estratégico. Com o acompanhamento da EG, foram definidos critérios de avaliação, métricas e metas para cada um destes objetivos, de forma a ser realizada uma avaliação concreta do seu cumprimento. Foram instituídas treze métricas e respetivas metas, incorporando as três dimensões da análise (i.e. desempenho, risco e custo). Posteriormente realizou-se o diagnóstico, onde foram calculadas as métricas e comparadas com os valores de referência. Com base no resultado do diagnóstico, foram estabelecidas três alternativas de intervenção. A alternativa que promove o desempenho ideal, A_1 , excede o orçamento disponível por 35%, e por isso é excluída da análise. A alternativa adotada, A_2 , cumpre com o orçamento disponível à custa de certos componentes excederem o seu tempo de vida útil. Conclui-se que um menor investimento em gestão proativa poderá resultar em problemas futuros e gastos inesperados.

Referências

- [1] Carriço, N. (2014) “Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão na Gestão Patrimonial de Infraestruturas Urbanas de Água,” Tese Doutoramento em Eng. Civil, Inst. Super. Técnico.
- [2] Alegre, H. (2007). Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água e de drenagem e tratamento de águas residuais, Programa de investigação e programa de pós-graduação apresentados para a obtenção do título de “Habilitado para o Exercício de Funções de Coordenação de Investigação Científica”, LNEC.
- [3] Almeida, M. C., Cardoso, M. A. (2010). Gestão patrimonial de infra-estruturas de drenagem de águas residuais e pluviais: uma abordagem centrada na reabilitação, ERSAR, Lisboa.
- [4] Alegre, H., Covas, D. (2010). Gestão patrimonial de infra-estruturas de abastecimento de água: uma abordagem centrada na reabilitação, ERSAR, Lisboa.
- [5] Covas, D., Monteiro, A.J., Teixeira, A.T., Cabeças, A., Barros, C., Figueiredo, D., Pena, J., Mamouros, L., Amado, M. C., Cabral, M., Brôco, N., Lopes, N., Antunes, S., Marchionni, V., (2015), “Custos de referência de infraestruturas do ciclo urbano de água, de valorização de resíduos urbanos sólidos e de proteção da orla costeira”, Relatório Final - Volume II, Instituto Superior Técnico (IST), Financiado pelo Programa Operacional para a Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (POSEUR).
- [6] Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J. M., Parena, R. (2004). Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água, Lisboa.
- [7] Alegre, H., Hirner, W., Baptista, J.M. & Parena, R. (2000). Performance indicators for water supply services. Manual of Best Practice Series, IWA Publishing, London, ISBN 1 900222 27 2 (160 pp.).
- [8] Duarte, P., Alegre, H., Covas, D.I.C. (2008). “Avaliação do desempenho energético em sistemas de abastecimento de água”. 13º Encontro Nacional de Saneamento Básico (ENaSB). Covilhã.