

AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO ESTRUTURAL DO SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS COM BASE EM ANÁLISE DE RISCO E INSPEÇÃO CCTV

ASSESSMENT OF STRUTURAL CONDITION OF WASTEWATER NETWORK BY RISK ANALYSIS AND CCTV INSPECTIONS

Soraia Almeida^a, Tiago Correia^a, Regina Casimiro^a, Conceição Amado^b, Rui Lança^c, Ivo Silvestre^a, João Caetano^a; Dídia Covas^c.

^a *Infraquinta, Empresa de Infraestruturas da Quinta do Lago, E.M, Almancil, Portugal*

^b *CEMAT, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal*

^c *Prof. Adjunto, Instituto Superior de Engenharia, Universidade do Algarve*

^d *CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal*

RESUMO

A razão para avaliar a condição dos coletores do sistema de drenagem de águas residuais é a prevenção da falha, a fim de evitar situações de emergência. Um dos desafios destes sistemas está no facto dos mesmos estarem enterrados, sendo a única forma de conhecer e avaliar o seu estado a realização de inspeções com recurso à tecnologia *Closed-Circuit Television* (CCTV).

A metodologia desenvolvida efetua a previsão de deterioração dos ativos ao longo do tempo e tem por base os resultados de inspeção CCTV e as características dos coletores inspecionados. Se existirem dados suficientes para apoiar esta metodologia, as intervenções poderão ser realizadas antes do sistema entrar num nível inaceitável de serviço. O objetivo deste trabalho passa por uma recolha de dados contínua, de forma a poder-se analisar e avaliar essa informação ao longo do tempo, validando assim o mapa de riscos desenvolvido. A metodologia desenvolvida foi aplicada à Infraquinta e os resultados mostram uma forte concordância entre os critérios de risco e a inspeção CCTV realizada.

Palavras Chave: Avaliação do estado de conservação; gestão de dados; inspeção CCTV; SIG; sistema de drenagem.

ABSTRACT

The compelling reason to perform condition assessment on the sewer collection system is to undertake preventive failure decisions, rather than reacting to emergencies. One of the challenges of maintaining the sewer collection systems is that so much of the process takes place underground and the only way to assess properly is to perform CCTV inspections.

A cost-effective methodology grouping the criticality, likelihood of failure and CCTV inspection is proposed. The methodology focuses on developing a forecast of asset deterioration over time. If a utility has condition data to support this type of forecast, interventions can be implemented before an unacceptable level of service occurs. Repeated data collection and analysis over time inform this ongoing assessment and validate the risk mapping. The methodology was applied to Infraquinta and results have shown a strong agreement between the risk criteria and CCTV inspection.

Keywords: Condition assessment; data management; CCTV inspection; GIS; sewer collection system.

* *Autor para correspondência. Corresponding author.*

E-mail: soraia.almeida@infraquinta.pt (Eng.)

1 INTRODUÇÃO

A rede de drenagem tem por objetivo a recolha e transporte das águas residuais para a estação de tratamento onde, por sua vez, se procede ao seu tratamento assegurando níveis adequados para a rejeição no meio ambiente. É, por isso, essencial conhecer a condição estrutural da rede de drenagem e priorizar as intervenções, a reparação e substituição dos seus componentes para evitar situações de emergência com potenciais custos sociais, económicos e ambientais.

A dificuldade de conhecer a condição estrutural dos sistemas de drenagem de águas residuais decorre do facto de se tratar de uma infraestrutura enterrada e os coletores mais antigos não estarem forçosamente em piores condições do que os mais recentes (existem muitos exemplos que comprovam que coletores de 80 anos podem estar em excelentes condições e que coletores de 30 anos podem estar em risco de colapso). Uma das únicas formas de, com segurança, conhecer a condição estrutural da rede de drenagem de águas residuais passa por uma inspeção visual com câmara (mais usual a inspeção por *Closed-Circuit Television*, CCTV). A inspeção CCTV apresenta, no entanto, elevados encargos financeiros e causa perturbações no normal funcionamento do sistema de drenagem de águas residuais.

A presente comunicação tem por objetivo apresentar uma metodologia eficaz, em termos de custos de previsão do estado de conservação e da evolução da deterioração dos coletores de águas residuais domésticas. Esta metodologia tem por base a informação disponível referente a anteriores inspeções CCTV e a informação disponível em SIG (sistema de informação geográfica) e utiliza artifícios de *Data Mining*.

A metodologia desenvolvida foi aplicada à Infraquinta e os resultados mostram uma forte concordância entre os critérios de risco e a probabilidade do coletor apresentar anomalias.

2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO CCTV

A inspeção CCTV realiza observações que, após a análise dos dados recolhidos, possibilitam a avaliação do desempenho funcional dos seus componentes e o diagnóstico do sistema sob diferentes pontos de vista (e.g., estrutural, hidráulico, ambiental e operacional).

A inspeção da rede de drenagem de águas residuais por CCTV pode ter um contributo valioso para a adequada gestão patrimonial desta infraestrutura de forma mais sustentada, possibilitando a intervenção antecipada no coletor e evitando falha no seu funcionamento.

No entanto, a inspeção CCTV apresenta diferentes desvantagens. É uma tarefa bastante dispendiosa, em termos de recursos humanos, financeiros e de tempo, e que por vezes exige a interrupção do serviço para a realização do trabalho de inspeção. O elevado custo associado à recolha de informação por CCTV impede que esta técnica seja aplicada a todos os coletores da rede de drenagem de águas residuais, num curto espaço de tempo.

Perante a necessidade de inspecionar por CCTV um sistema com insuficiente registo histórico de informação o decisor terá dificuldade de saber onde começar, em particular quando existem constrangimentos de tempo e recursos. Por esta razão, o uso do CCTV requer uma prévia seleção e priorização dos coletores a inspecionar.

3 SELEÇÃO E PRIORIZAÇÃO DE COMPONENTES DA REDE PARA INSPEÇÃO

Um programa de inspeção e avaliação da condição estrutural requer uma abordagem planeada e centrada nos coletores com maior risco de falha (Carriço *et al.*, 2012).

O risco de falha pode ser estimado com base na criticalidade (e.g., consequência da falha ou impacto da falha nas suas diferentes dimensões, económica, social e de imagem) e na probabilidade de ocorrência da falha.

Os critérios de criticalidade são vários e devem ser específicos da rede de drenagem em análise (Carriço *et al.*, 2013). Esta abordagem pode ser aplicada de forma seletiva em função do material e dimensão dos coletores, características dos solos e frequência de ocorrência de colapsos.

A probabilidade de ocorrência de falha resulta da análise do tempo de vida útil remanescente dos coletores (i.e., período de tempo até atingir uma condição inaceitável) e é obtida com base na informação histórica da condição estrutural e atual desempenho dos coletores.

O risco de falha é uma medida combinada das consequências de falha e da probabilidade de ocorrência desta falha.

A avaliação estrutural reflete a integridade estrutural dos componentes de um sistema e também incorpora o entendimento dos mecanismos de degradação. A inspeção CCTV centrada nos locais com maior risco de falha permite aperfeiçoar os critérios de criticalidade e melhorar a estimativa do tempo de vida útil remanescente.

4 IMPORTÂNCIA DO ENTENDIMENTO DOS MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO

O objetivo último do decisor deverá ser o de obter uma previsão da condição estrutural da rede de drenagem de águas residuais ao longo do tempo. Com a avaliação da condição estrutural e entendimento dos possíveis riscos de falha dos coletores da rede de drenagem de águas residuais torna-se possível:

- a) programar as intervenções a realizar para evitar custos ou consequências inaceitáveis decorrentes da falha do coletor;
- b) escolher o tipo de intervenção a efetuar tendo por princípio que uma gestão eficaz da rede de drenagem de águas residuais domésticas exige estratégias para a redução das consequências da falha e para a redução da sua probabilidade de ocorrência.

Para construção da previsão da condição estrutural da rede de drenagem de águas residuais é necessário recolher, catalogar e analisar, de forma sistemática e contínua, informação relevante acerca da mesma (Almeida e Cardoso, 2010).

5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA NO CASO DE ESTUDO DA INFRAQUINTA

5.1 Características da rede de drenagem de águas residuais domésticas

O sistema de drenagem de águas residuais da Infraquinta foi originalmente concebido e construído no início da década de 70. É um sistema unitário, sendo que a sua alteração para sistema separativo tem vindo a ser feita, gradualmente, à medida que são realizados trabalhos de reabilitação nas infraestruturas. Tem cerca de 70 km de rede e 4000 caixas de visita, 66 km de coletores gravíticos e 4 km de condutas elevatórias. Nos coletores encontram-se diversos materiais (74% de PVC, 16% de fibrocimento, 10% de grés) e diâmetros que variam entre os 200 mm e os 400 mm.

De acordo com estudos realizados pela Infraquinta, em 2014, o valor atual das infraestruturas de drenagem de águas residuais era de 3.2 M€ e o custo da sua substituição de 6,5 M€, do que resulta um índice de valor das infraestruturas (IVI) de 0.45 representando uma infraestrutura com ligeiro grau de envelhecimento (Alegre e Covas, 2010).

5.2 Critérios de criticalidade

O processo de definição dos critérios de criticalidade iniciou-se pela recolha e análise da informação disponível, e.g. informação cadastral e registo histórico de intervenções na rede de drenagem de águas residuais.

Os critérios de criticalidade selecionados, para a possível justificação da condição estrutural dos coletores, foram o material, a inclinação, a profundidade (Decreto-lei n.º 23/95) e a existência ou não de arruamentos. Os critérios de criticalidade foram, posteriormente, classificados em três classes, baixa, média e alta, consoante as suas consequências em caso de falha.

O Quadro 1 apresenta a classificação dos critérios de criticalidade em função da classe de criticalidade (baixa, média, elevada).

Quadro 1: Classificação dos critérios de criticalidade

Critérios de Criticalidade	Classe de Criticalidade		
	Baixa	Média	Alta
Material	Grés	PVC	Fibrocimento
Arruamento	Todas as outras	Estrada Secundária	Estrada Principal
Inclinação, i	Todas as outras	-	$0,3\% < i < 15\%$
Profundidade, h	Todas as outras	-	$1\text{m} < h < 3\text{m}$

5.3 Probabilidade de falha

Na ausência de informação para avaliar a vida útil dos coletores (informação sobre a condição estrutural dos coletores e seu desempenho), foram considerados os seguintes valores de referência para as vidas úteis técnicas de 70 anos para os coletores em grés e PVC e de 45 anos para os coletores em fibrocimento e betão simples (NSW, 2014).

A probabilidade de falha foi atribuída com base na proximidade do seu tempo de vida útil, usando as seguintes critérios:

- a idade do coletor excede a vida útil remanescente;
- restam 25 anos para o fim da vida útil do coletor;
- restam mais de 25 anos para o fim da vida útil do coletor.

5.4 Risco

O risco resulta da matriz de combinação das classes de criticalidade com a probabilidade de falha. A matriz resultante é apresentada no Quadro 2, onde se definiu o nível de prioridade de intervenção, tendo em conta a vida útil dos coletores e a classe de criticalidade. Ao maior risco corresponde a prioridade P1 (a vermelho), ao risco intermédio a prioridade P2 (a amarelo) e ao menor risco a prioridade P3 (a verde).

Quadro 2: Níveis de prioridade tendo em conta a probabilidade de falha e classe de criticalidade

Probabilidade de falha	Classe de Criticalidade		
	Baixa	Média	Alta
Excede a vida útil	P2	P1	P1
25 anos para o fim da vida útil	P3	P2	P1
> de 25 anos para o fim da vida útil	P3	P3	P2

Na Figura 1, apresenta-se o mapa de riscos obtido, bem como as respetivas prioridades de intervenção, descritas anteriormente.

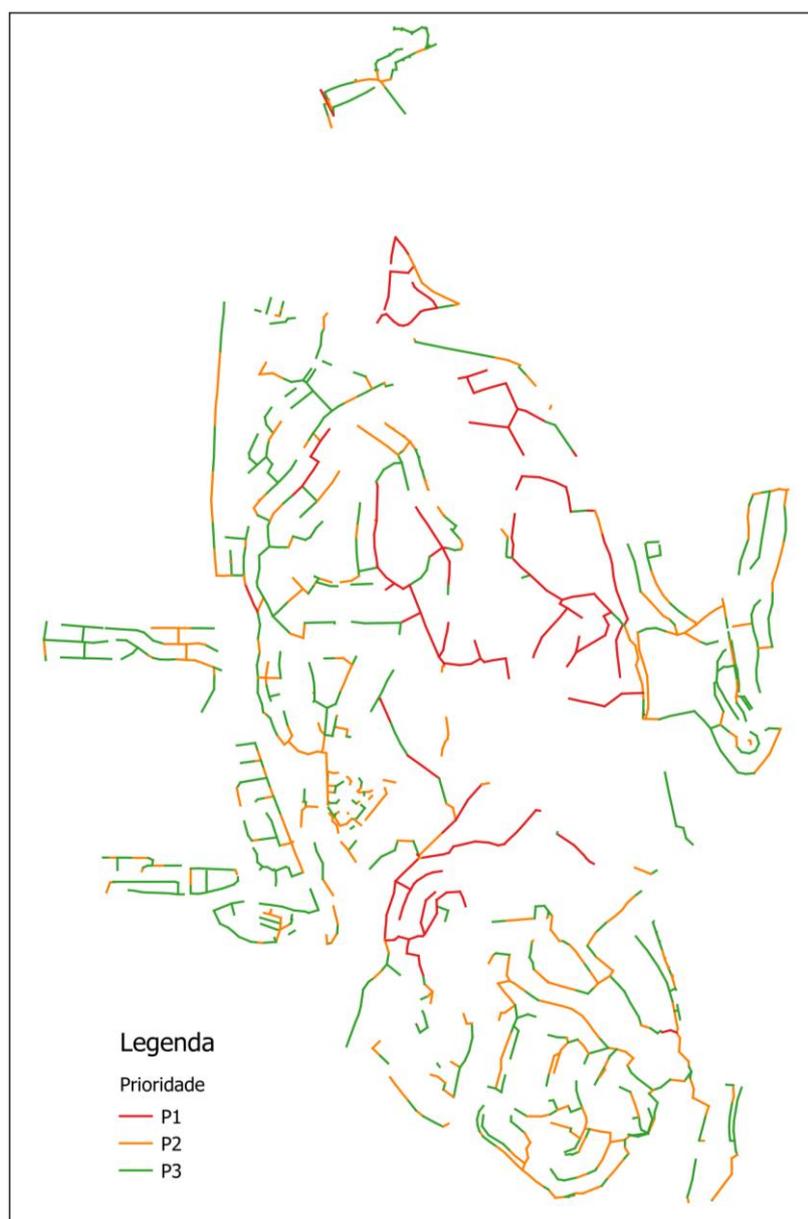


Figura 1: Mapa de risco relativo ao risco de falha

5.5 Inspeção CCTV

De forma a validar o mapa de riscos e aferir os critérios de criticalidade e vida útil dos coletores, realizou-se uma inspeção CCTV numa amostra aleatória, de coletores, representativa da rede. Para isso, estratificou-se a “população” pelas prioridades P1, P2 e P3, que não se sobrepõem, e extraíram-se várias amostras de cada grupo, aleatoriamente, perfazendo um total de uma amostra representativa de 14% da extensão da rede. À prioridade P1 dizem respeito os coletores que necessitam de reparação urgente, a curto prazo, à P2 aqueles cuja intervenção deverá ser feita a médio prazo e à P3 os que deverão ser intervencionados a longo prazo.

Com base nos resultados obtidos (ver Figura 2) identifica-se que as anomalias com maior predominância e gravidade nos coletores são: *falta de secções*, dando origem à posterior infiltração de raízes, ou mesmo ao colapso dos coletores; *pendentes invertidas*, *deformações*, *obstruções* e *entupimentos*, causando deficiências no correto funcionamento do sistema; e

anomalias de menor severidade, tais como, *fissurações, juntas abertas, corrosão, incrustações* e infiltrações de raízes nas juntas.

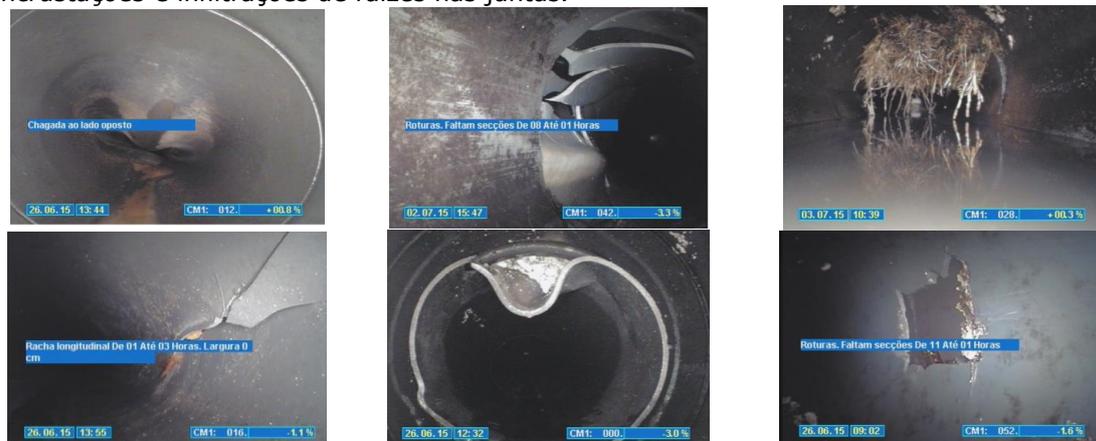


Figura 2 - Anomalias graves existentes nos coletores

5.6 Resultados obtidos: comparação entre os resultados do mapa de risco e da inspeção CCTV

O Quadro 3 mostra a matriz com as percentagens respeitantes ao cruzamento das prioridades obtidas, mediante a análise de risco do Quadro 2, com a escala de prioridades resultante da inspeção CCTV.

Quadro 3: Matriz que traduz o cruzamento das prioridades obtidas através da análise de risco com as prioridades relativas à inspeção CCTV

		Prioridades de acordo com a inspeção CCTV		
		P1	P2	P3
Prioridades de acordo com os Critérios de	P1	17.78%	21.11%	61.1%
Ponderação	P2	17.95%	20.51%	61.54%
	P3	13.70%	10.96%	75.34%

Da análise dos resultados do Quadro 3 identifica-se que existe uma maior concordância para os casos de prioridade 3 (75.34%) e menor coincidência para os casos de prioridade 1 e prioridade 2 (17.78% e 20.51%, respetivamente).

5.7 Crítica aos resultados obtidos

Os resultados do Quadro 3 indiciam que as prioridades apontadas pela inspeção CCTV são mais gravosas do que as resultantes da análise de risco. Tratando-se de uma amostra representativa da rede, os resultados da inspeção CCTV poderão ser alarmantes pois maioritariamente caem na prioridade 3.

Há que analisar os resultados do Quadro 3 com maior detalhe para poder concluir se as discrepâncias encontradas entre a análise de risco (para as prioridades 1 e 2) e os resultados da inspeção CCTV são consequência de uma análise de risco benevolente ou, se pelo contrário, resultam de uma inspeção CCTV de classificação subjetiva.

No caso de estudo da Infraquinta será difícil, nesta fase, extrair conclusões para os casos de menor gravidade assinalados de acordo com o mapa de risco (prioridades 2 e 3), por duas importantes razões:

- No processo de definição dos critérios de criticalidade não foi tido em conta o registo do histórico de intervenções na rede de drenagem de águas residuais, devido à ausência do mesmo;
- A inspeção CCTV realizada não permite afirmar, com segurança, que os critérios de prioridade foram adequadamente estabelecidos. Não foi baseada em codificação

normalizada (como recomendado pela norma EN 13508-2:2003) e baseou-se exclusivamente na opinião do operador da empresa. Se a este facto acrescentarmos que o responsável pela inspeção CCTV efetua, simultaneamente, trabalhos de reparação de coletores, a desconfiança nos resultados poderá ainda ser maior.

As inspeções futuras aos coletores com maior criticalidade, conforme o mapa de risco, têm de seguir as boas práticas de execução de inspeção (Almeida *et al.*, 2011) para que os resultados da inspeção possibilitem a avaliação da condição estrutural dos coletores e aferição do mapa de risco.

5.8 Análise custo-benefício

Com a metodologia apresentada é possível à Infraquinta avaliar a condição do sistema de drenagem de águas residuais de uma forma proactiva sem necessidade de inspeção visual a toda a rede.

No Quadro 4 apresenta-se a comparação do valor atual da rede de drenagem de águas residuais da Infraquinta com a estimativa do custo de inspeção (para a amostra e para todo o sistema) assim como os custos de substituição da rede.

Quadro 4: Valor atual, custo de substituição e custos de inspeção do sistema de drenagem de águas residuais domésticas da Infraquinta

Sistema de drenagem de águas residuais domésticas	Valor (k€)
Valor atual	3 203
Custo de substituição	6 447
Custos de inspeção (amostra representativa de 14%)	30
Estimativa de custos de inspeção (para toda a rede)	210

A análise ao Quadro 4 mostra que a metodologia proposta permite uma poupança de, no mínimo 180 k€ (210-30 k€). Por outro lado, a poupança alcançada com a metodologia permite, no mínimo, a substituição de 2.6% por ano da rede de drenagem de águas residuais.

Igualmente relevante é o facto da metodologia proposta permitir compreender os fatores que afetam a condição estrutural da rede de drenagem de águas residuais e, desta forma, obter uma previsão da evolução da condição estrutural da rede de drenagem de águas residuais ao longo do tempo. Em última instância, a previsão do futuro estado dos coletores, permitirá:

- diminuir a necessidade de recorrer a avaliação sistemática por inspeção CCTV e, portanto, reduzir custos.
- escolher o tipo de intervenção mais adequado e evitar erros de gestão que conduzem a gastos financeiros desnecessários.

6 CONCLUSÕES E ASPETOS A MELHORAR

A inspeção da rede de drenagem de águas residuais por CCTV tem sido utilizada na avaliação estrutural dos coletores. No entanto é uma técnica dispendiosa e, por si só, não permite a redução do risco de falha.

A redução efetiva do risco de falha requer a identificação dos principais fatores que afetam a condição estrutural e a seleção e calendarização das intervenções a realizar. Somente desta forma se conseguirá evitar falhas do sistema e erros de gestão que se traduzem em elevados custos e consequências em termos da prestação do serviço e de imagem inaceitáveis.

A metodologia proposta suporta a tomada de decisão, nos seguintes aspetos:

- para os coletores em má condição, identificar aqueles com maior risco de falha (i.e., quais são os que apresentam a mais relevante combinação em termos de consequências em caso de falha e probabilidade de falha);

- estabelecer as medidas (táticas) necessárias para evitar situações de falha, ou seja, as ações a selecionar passam pela redução das consequências de fracasso e/ou redução da probabilidade de falha.

Somente com o cumprimento dos aspetos acima referidos será possível ao decisor calendarizar e conhecer os custos da intervenção a efetuar (e.g. custos de reparação, reabilitação ou substituição dos coletores) e conhecer os riscos assumidos.

A aplicação da metodologia à rede de drenagem da Infraquinta permite identificar debilidades que convém corrigir para que a metodologia proposta possa ser útil em toda a sua extensão.

É necessário que: as inspeções de componentes de sistemas urbanos de água sejam realizadas de forma cuidada, atendendo às boas práticas, algumas apresentadas em Almeida *et al.* (2011); os resultados das inspeções devem ser fiáveis, não só numa perspetiva de otimização de recursos, mas também para sustentar o desenvolvimento de planos de reabilitação adequados.

Independentemente do esforço colocado na avaliação estrutural, não deve ser esquecido que cada inspeção representa uma oportunidade para recolha de informação. Por exemplo, aquando da avaliação da condição estrutural por CCTV pode também efetuar-se a recolha de informação sobre as ligações indevidas.

A metodologia proposta apresenta ainda algumas fragilidades que só numa fase de maior maturidade da sua aplicação poderão ser ultrapassadas. A avaliação da condição estrutural é efetuada coletor a coletor, sendo o coletor definido como o segmento de tubagem entre caixas de visita. A avaliação estrutural deve ser uma abordagem conjunta de vários troços adjacentes de coletor pois a intervenção de reabilitação deve ser também otimizada do ponto de vista de planeamento da intervenção no campo.

REFERÊNCIAS

- Alegre, H., Covas, D. (2010). *Gestão Patrimonial de Infra-estruturas de Abastecimento de Água - Uma Abordagem centrada na Reabilitação. Série Guias Técnicos, n.º16*, of Guias Técnicos n.º13.IRAR, Lisboa, 1ª Edição.
- Almeida, M.C., Leitão, J.P., Silva, M.S. (2011). Avaliação da condição estrutural de coletores: inspeção visual com CCTV, requisitos e uso de dados. ENEG 2011, Santarém.
- Almeida, M.; Cardoso, M. (2010). Gestão patrimonial de infra-estruturas de águas residuais e pluviais. ERSAR e LNEC. Série Guias Técnicos N.º17, ISBN: 978-989-8360-05-2.
- Carrigo, N.J.G., Covas, D.I.C., Almeida, M.C., Leitão, J.P., Alegre, H. (2012). "Prioritization of rehabilitation interventions for urban water assets using multiple criteria decision-aid." *Water Science and Technology* Vol. 55 (5), 1007-1014 (DOI: 10.2166/wst.2012.274).
- Carrigo, N.J.G., Covas, D.I.C., Almeida, M.C., Alegre, H. (2012). "Selection of the best rehabilitation solution using multicriteria decision analysis." In: *World Water Congress & Exhibition*, Pub. International Water Association (IWA), Busan, South Korea.
- Carrigo, N. J. G, Gonçalves, F.V., Covas, D. I. C., Almeida, M. C., Alegre, H. (2013). Multi-criteria analysis for the selection of the best energy efficient option in urban water systems. *Procedia Engineering*, Volume 70, 2014, Pages 1192–1200, 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2013; doi:10.1016/j.proeng.2014.02.033.
- Decreto-lei n.º 23/95, de 23 de Agosto. *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de água e de Drenagem de Águas Residuais*.
- NSW (2014): NSW Reference Rates Manual – Valuation of Water Supply, Sewerage and stormwater Assets. Sydney.