

Custos de intervenções de reabilitação em reservatórios apoiados de água

Marta Cabral ^{a *}, Dália Loureiro ^b, Dídía Covas ^a

^a CERIS, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal

^b Núcleo de Engenharia Sanitária, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

Resumo

O presente artigo tem como objetivo apresentar custos de reabilitação de reservatórios apoiados incluindo custos unitários de intervenções de renovação não estrutural e funções de custo de construção civil e de equipamento eletromecânico e instalações elétricas. A metodologia para obter os custos de intervenções de reabilitação foi adaptada de trabalhos anteriores e é constituída por quatro etapas: 1) recolha, análise e processamento de dados; 2) atualização de custos à data de referência; 3) estabelecimento das rubricas de custo e identificação dos parâmetros característicos; 4) cálculo e validação dos custos de reabilitação. Os dados utilizados relativos a custos de reabilitação e a características das infraestruturas são provenientes de mapas orçamentais de obras recentes efetuadas por várias entidades gestoras em Portugal. Descrevem-se as principais intervenções de reabilitação efetuadas em reservatórios em Portugal, incluindo a identificação dos parâmetros característicos. As funções de custo de reabilitação obtidas são comparadas com as funções de custo de construção de reservatórios. Verifica-se que o custo de reabilitação de construção civil varia entre 5 % e 50 % do custo de construção e que o custo de reabilitação de equipamento eletromecânico e instalações elétricas varia entre 10 % e 200 % do custo de construção.

Palavras-Chave: abastecimento de água, custos de reabilitação, funções de custos, reservatórios apoiados, técnicas de regressão.

doi: 10.22181/aer.2020.0704

* Autor para correspondência
E-mail: marta.f.cabral@tecnico.ulisboa.pt

Rehabilitation intervention costs in ground storage tanks

Marta Cabral ^{a *}, Dália Loureiro ^b, Dídía Covas ^a

^a CERIS, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal

^b Núcleo de Engenharia Sanitária, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

Abstract

The present study aims at obtaining rehabilitation costs of ground storage tanks including unit costs of rehabilitation interventions of structural renewal and cost functions of civil works, equipment and electrical facilities. The methodology to obtain the rehabilitation costs is adapted from previous works and consists of a four-step procedure: 1) database construction and analysis; 2) present cost value calculation; 3) cost item identification and key parameters establishment; 4) rehabilitation cost calculation and validation. Data of rehabilitation costs and infrastructures were taken from contract maps of recent works carried out by several Portuguese utilities. The main rehabilitation interventions in ground storage tanks are described, including the identification of key-parameters. Rehabilitation cost functions are compared with construction cost functions of ground storage tanks. Results show that the cost of rehabilitation of civil works varies between 5 % and 50 % of the construction cost and that the cost of rehabilitation of equipment and electrical facilities varies between 10 % and 200 % of the construction cost.

Keywords: cost functions, ground storage tanks, regression techniques, rehabilitation costs, water supply.

doi: 10.22181/aer.2020.0704

* *Corresponding author*
E-mail: marta.f.cabral@tecnico.ulisboa.pt

1 Introdução

A maioria dos sistemas de distribuição de água na Europa Ocidental e na América do Norte foram construídos há pelo menos 150 anos. As redes de água mais antigas foram construídas sob padrões e práticas de construção e com tecnologias que, atualmente, estão desatualizadas (Sægrov et al. 1999). A deterioração dos ativos decorrente da sua utilização contribui para o aumento dos custos de operação, manutenção e reabilitação, o aumento das perdas de água, a redução na qualidade do serviço e a redução na qualidade da água fornecida (Kleiner et al. 1998). A maioria das entidades gestoras, em Portugal, apresenta uma qualidade de serviço média a insatisfatória relativamente à taxa de reabilitação de condutas, correspondendo a valores de 0 e 1% de reabilitação por ano, sendo os valores de referência para uma adequada qualidade de serviço entre 1-4% (RASARP 2015). De modo a manter ou a melhorar o desempenho das redes de água existentes, devem ser considerados sistemas e tecnologias para inspeção e controlo, operação e manutenção, assim como, identificadas e implementadas as intervenções de reabilitação consideradas prioritárias (Alegre et al. 2004).

O conceito de reabilitação é definido como “qualquer intervenção física que prolongue a vida de um sistema existente ou melhore o seu desempenho estrutural, hidráulico e/ou de qualidade da água, envolvendo uma alteração da sua condição ou especificação técnica” (Alegre et al. 2006). A reabilitação corresponde a intervenções de substituição, renovação, reforço e, ocasionalmente, reparação “sistemática” dependendo do tipo de anomalia.

A maioria dos países em vias de desenvolvimento apresenta um rápido crescimento de construção de novas infraestruturas associadas ao ciclo urbano da água, enquanto os países desenvolvidos enfrentam elevadas necessidades de substituir as infraestruturas mais antigas e obsoletas para atender aos requisitos de desempenho atuais e futuros, assim como garantir a sustentabilidade do serviço no médio e longo prazo (Clarke et al. 2002). Neste contexto, é necessário mais financiamento para restabelecer ou manter níveis de serviço adequados, no entanto o orçamento disponível é geralmente limitado, permitindo apenas soluções de reabilitações parciais e insuficientes (Halhal et al. 1997). O estudo de funções de custo de reabilitação é fundamental para o apoio no diagnóstico das infraestruturas existentes e para preparar programas de investimentos de médio e longo prazo como parte do plano estratégico das entidades gestoras. No diagnóstico, as funções de custo são importantes para determinar o valor atual e o custo de substituição dos ativos das infraestruturas urbanas de água existentes; no estudo de alternativas são importantes para a sua seleção e análise económica.

Os reservatórios apoiados apresentam uma elevada componente de construção civil e outra componente, mais pequena, associada ao equipamento eletromecânico e instalações elétricas. Dependendo da natureza das anomalias observadas nos reservatórios, estas podem ser de natureza estrutural, hidráulica, de qualidade da água ou de operação e manutenção. A maioria dos estudos de custos de reabilitação centra-se em técnicas de reabilitação de condutas, uma vez que são frequentemente consideradas as infraestruturas críticas dos sistemas de abastecimento de água (e.g. Selvakumar et al. 2002, Covas et al. 2018). No entanto, o conhecimento de custos de reabilitação de outros ativos, em particular dos ativos verticais e instalações, permite realizar, fundamentar e consolidar os planos de investimento, sendo, por isso, o conhecimento dos custos de intervenções de reabilitação de reservatórios de elevado interesse.

Esta comunicação tem como objetivo apresentar os custos de reabilitação de reservatórios apoiados de água, incluindo custos unitários de intervenções de renovação não estrutural e funções de custo de reabilitação das componentes de construção civil e de equipamento eletromecânico e instalações elétricas. Para este efeito, são utilizados métodos de regressão e as funções de custo de reabilitação obtidas são comparadas

com as funções de custo de construção de reservatórios. Os custos de reabilitação podem ser descritos em função das características físicas destes ativos (e.g., volume), obtendo-se, desta forma, ordens de grandeza de custos de intervenções, ou através de parâmetros associados às intervenções de reabilitação (e.g., área de parede, volume de betão), obtendo-se estimativas mais aproximadas em função do tipo de intervenção a efetuar.

2 Metodologia

A metodologia para obter os custos de intervenções de reabilitação de reservatórios foi adaptada de Covas et al. (2018). Esta metodologia foi desenvolvida para obter e validar custos de construção de infraestruturas urbanas de água num estudo desenvolvido pelo Instituto Superior Técnico (IST) e financiado pela Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR) e pelo Programa Operacional para a Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (POSEUR). A metodologia é composta por quatro etapas: 1) recolha, seleção e processamento dos dados; 2) atualização de custos à data de referência; 3) estabelecimento das rubricas de custo e identificação dos parâmetros característicos; 4) cálculo e validação dos custos de reabilitação. Estas etapas, devidamente adaptadas para obter os custos de reabilitação, são descritas em detalhe nas seguintes secções.

2.1 Recolha, seleção e processamento dos dados

A informação relativa a custos de intervenções de reabilitação de reservatórios de água é proveniente de contratos adjudicados em Portugal continental, os quais foram fornecidos por diversas entidades gestoras. Cada contrato pode incluir diferentes intervenções de reabilitação associadas às componentes de construção civil, equipamento eletromecânico e instalações elétricas. As diferentes práticas ao nível da reabilitação, incluindo a diversidade de produtos e materiais, dificultam a tipificação de intervenções, bem como a comparação de custos de intervenções dos diferentes contratos.

2.2 Atualização de custos à data de referência

De forma a considerar as práticas de reabilitação correntes em Portugal foram analisados contratos de adjudicação relativos apenas às últimas duas décadas. Os contratos analisados apresentam datas de adjudicação entre 2004 e 2015, devendo ser atualizados a uma mesma data de referência. O ano de 2018 foi considerado de referência para a obtenção de custos unitários medianos de várias intervenções de reabilitação associadas à renovação não estrutural de reservatórios apoiados. Enquanto o ano de 2016 foi considerado de referência para a obtenção das funções de custo e comparação com os custos de construção, atualizados ao mesmo ano. A atualização dos custos é efetuada tendo por base os valores do Índice Harmonizado de Preços no Consumidor (IHPC), disponibilizados pelo Banco de Portugal. Os custos são atualizados com base nos fatores de atualização acumulados como se exemplifica na eq. 1, para os custos de intervenções de reabilitação associadas à renovação não estrutural, os quais são atualizados para o ano de 2018:

$$C_a = C_n \cdot \prod_{i=n+1}^{2018} (1 + t_i) = C_n \cdot Fa_n \quad \text{eq. 1}$$

sendo C_a o custo atualizado ao ano 2018 (€), C_n o custo da intervenção de reabilitação no ano n (€), t_i o índice de preços anual (IHPC), entre o ano seguinte em que foi ocorreu a intervenção e o ano 2018 (-), n o ano de adjudicação da empreitada (anos), e Fa_n o fator de atualização correspondente ao IHPC anual acumulado entre o ano de reabilitação n e o ano de 2018 (-).

2.3 Estabelecimento das rubricas de custo e identificação dos parâmetros característicos

Os custos de construção de reservatórios são divididos em duas componentes: custo de construção civil (C_{cc}), incluindo estaleiro, movimento de terras, fundações e estruturas, arquitetura e outros trabalhos de construção civil; e custo de equipamento eletromecânico e instalações elétricas (C_e), incluindo tubagem, acessórios e componentes eletromecânicas e instalações elétricas. O parâmetro característico utilizado para estimar os custos de construção de reservatórios é a capacidade ou volume, V (m^3).

O estudo dos custos de reabilitação é mais complexo, uma vez que cada uma das componentes (construção civil e equipamento eletromecânico e instalações elétricas) pode ser decomposta em várias tipologias de intervenção, podendo cada uma destas apresentar um parâmetro característico diferente.

As tipologias de intervenção são divididas em: renovação não estrutural; substituição de equipamento eletromecânico e instalações elétricas. Existem, porém, alguns trabalhos que são comuns à maioria dos contratos analisados de obras de reabilitação de reservatórios, designadamente:

- montagem, manutenção e desmontagem do estaleiro;
- ventilação e aquecimento forçado do ar interior, de forma a criar condições para a aplicação de produtos e registo diário de temperatura e humidade;
- transporte a vazadouro de todos os produtos sobrantes; e
- limpeza, lavagem e desinfeção das células dos reservatórios.

2.4 Cálculo e validação dos custos de reabilitação

O cálculo dos custos unitários de reabilitação deve considerar os custos associados aos trabalhos gerais, através da sua distribuição de acordo com o custo de cada intervenção. As funções de custo são obtidas com base em métodos de regressão linear. As regressões lineares também podem ser utilizadas com as relações que não são inerentemente lineares (por exemplo, função de potência), mas podem ser linearizadas após uma transformação matemática. Esta transformação é traduzida pela eq. 2:

$$Y_i = \alpha_0 \cdot X_i^{\alpha_1} \rightarrow \ln Y_i = \ln \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \ln X_i \quad \text{eq. 2}$$

sendo Y_i a variável dependente (e.g., custo de reabilitação de construção civil ou custo de reabilitação de equipamento eletromecânico e instalações elétricas); X_i a variável independente (e.g., volume) e α_0 , α_1 os coeficientes estimados. A análise estatística foi efetuada utilizando o *software* R (<http://www.r-project.org>), um conjunto integrado de ferramentas estatísticas computacionais para análise dos dados, de distribuição gratuita.

3 Resultados

O presente artigo utiliza dados infraestruturais e custos de reabilitação provenientes de 17 contratos de adjudicação, correspondendo ao estudo de reabilitação de 27 reservatórios localizados em Portugal continental. No Quadro 1 apresenta-se a caracterização da amostra analisada, em termos de capacidade e número de células dos reservatórios e ano de adjudicação do contrato.

O custo unitário mediano de algumas intervenções de reabilitação associadas à renovação não estrutural de reservatórios apoiados é apresentado no Quadro 2. São, também, apresentados a variação de custo identificada nos mapas analisados e o número de intervenções de reabilitação estudadas por tipologia. Os valores dos custos unitários estão atualizados ao ano 2018.

Quadro 1. Caracterização da amostra de contratos analisados

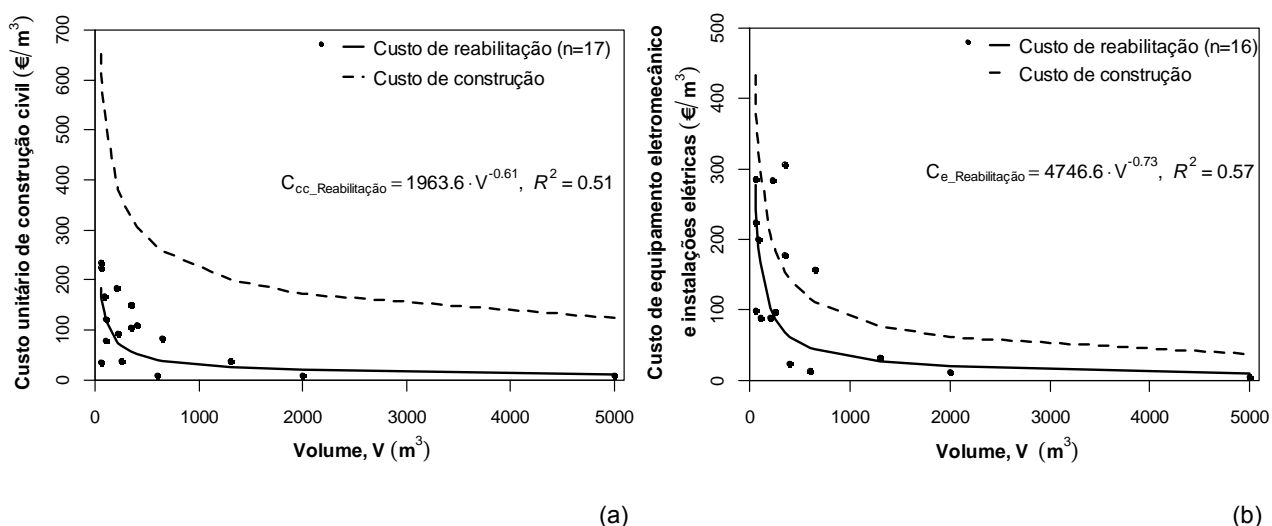
Número de contratos adjudicados	17
Número de reservatórios	27
Volume (m³)	[50, 6000]
Número de células	[1, 2]
Ano de adjudicação	[2004, 2015]

As intervenções de reabilitação em reservatórios foram também tratadas de forma agregada e categorizadas por: construção civil (incluindo o custo de estaleiro e outros trabalhos gerais); equipamento eletromecânico e instalações elétricas. Foram obtidas funções de custo de reabilitação de reservatórios apoiados para estas duas componentes. Estas funções foram comparadas com as obtidas na construção de reservatórios propostas por Covas et al. (2018), atualizadas ao ano de 2016.

Quadro 2. Custo unitário mediano de intervenções de reabilitação associadas à renovação não estrutural de reservatórios apoiados

Intervenção de reabilitação	Número de intervenções	Custo unitário mediano	Varição de custo
Tratamento de superfícies com camada de acabamento e agente de mineralização	7	24,46 €/m ²	[15,32; 35,07] €/m ²
Tratamento de fissuras	6	10,11 €/m	[1,04; 30,59] €/m
Tratamento de armaduras à vista	4	24,63 €/m	[18,66; 90,32] €/m
Tratamento de juntas de betonagem	3	10,51 €/m	[7,56; 13,16] €/m
Tratamento de juntas de dilatação	7	23,80 €/m	[8,99; 29,77] €/m

Na Figura 1 apresenta-se a comparação entre o custo unitário de construção e o custo unitário de reabilitação de reservatórios apoiados para as duas componentes de custo: construção civil e equipamento eletromecânico e instalações elétricas. Ambas as curvas de regressão diminuem com o parâmetro característico, o volume do reservatório. As duas curvas de reabilitação apresentam um custo significativamente inferior ao custo de construção em novo, com maior evidência no custo de reabilitação de construção civil.

**Figura 1.** Custos unitários de construção e reabilitação de reservatórios apoiados: (a) construção civil; (b) equipamento eletromecânico e instalações elétricas

Na Figura 2 apresenta-se o custo de reabilitação expresso em percentagem do custo de construção para a construção civil e para o equipamento eletromecânico e instalações elétricas. Os custos de reabilitação associados à construção civil variam entre 5 % e 50 % do custo de construção na amostra analisada, enquanto o custo de reabilitação de

equipamento eletromecânico e instalações elétricas varia entre 10 % e 200 % do custo de construção em novo. A variação entre o custo de reabilitação e de construção associada à construção civil é explicada pelo facto de as intervenções de reabilitação serem muito diversas, enquanto no caso da reabilitação de equipamentos este é superior ao custo de construção quando são instalados equipamentos com tecnologias mais avançadas. Os custos apresentados, em ambas as figuras, estão atualizados ao ano de 2016.

O rácio entre as funções obtidas reabilitação/construção associadas à construção civil varia entre 28% para reservatórios de pequenas dimensões (50 m³) e 10% para reservatórios maiores (5 000 m³); esta variação justifica-se pelo efeito de escala das intervenções em reservatórios maiores (maior área/comprimento de intervenção tem menor custo unitário). No caso do equipamento eletromecânico e instalações elétricas, o custo de reabilitação varia entre 56 e 20% do custo de construção em novo, sendo cerca do dobro do rácio homólogo associado à construção civil.

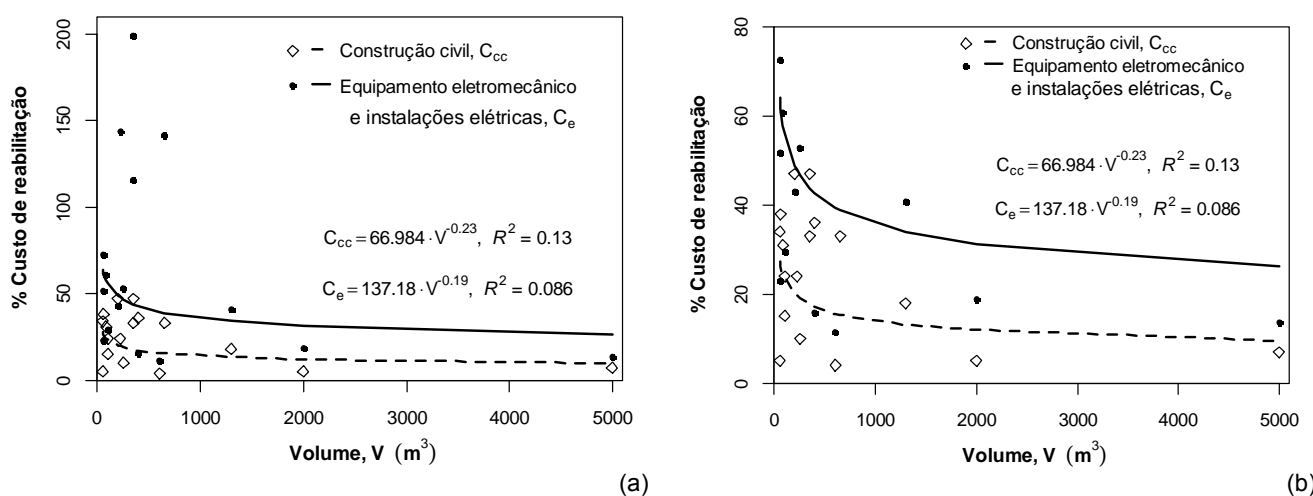


Figura 2. Percentagem do custo de reabilitação de construção civil e de equipamento eletromecânico e instalações elétricas de reservatórios apoiados no custo de construção: (a) amostra completa; (b) detalhe para custo de reabilitação ≤ 80%

4 Conclusões

Este estudo permitiu obter custos de intervenções de reabilitação de reservatórios apoiados de água, incluindo custos unitários de intervenções associadas à renovação não estrutural e funções de custos divididas pelas componentes de construção civil e de equipamento eletromecânico e instalações elétricas. A metodologia utilizada para obter os custos de reabilitação foi adaptada de trabalhos anteriores e é composta por quatro etapas: 1) recolha, análise e processamento de dados; 2) atualização de custos à data de referência; 3) estabelecimento das rubricas de custo e identificação dos parâmetros característicos; 4) cálculo e validação dos custos de reabilitação.

Várias entidades gestoras forneceram dados infraestruturais e de custos de obras de reabilitação de reservatórios apoiados em Portugal entre 2004 e 2015. Para algumas intervenções de reabilitação associadas à renovação não estrutural (tratamento de superfícies com camada de acabamento e agente de mineralização, tratamento de fissuras, tratamento de armaduras à vista, tratamento de juntas de betonagem e de dilatação) foram calculados os custos unitários medianos e a variação de custo. Foram construídas funções de custo de reabilitação para as componentes de construção civil e de equipamento eletromecânico e instalações elétricas e comparadas com as funções de custo de construção de reservatórios. Verificou-se que o custo de reabilitação de construção civil varia entre 5 % e 50 % do custo de construção e que o custo de

reabilitação de equipamento eletromecânico e instalações elétricas varia entre 10 % e 200 % do custo de construção.

O conhecimento dos custos de reabilitação é fundamental para a gestão do ciclo de vida dos ativos, contribuindo para o apoio no diagnóstico de infraestruturas existentes e para preparar programas de investimentos de médio e longo prazo como parte do plano estratégico das entidades gestoras.

Agradecimentos

As autoras gostariam de agradecer às entidades gestoras que disponibilizaram informação relativa às suas infraestruturas, bem como os contratos adjudicados de obras de reabilitação de reservatórios apoiados.

Referências

- Alegre H., Hirner W., Baptista J. M., Parena R. (2004). Indicadores de desempenho para serviços de água. Lisboa, IRAR e LNEC, ISBN: 972-99354-2-4.
- Alegre H., Baptista J. M., JR. E. C., Cubillo F., Duarte P., Hirner W.; Merkel W.; Parena R. (2006). *Performance indicators for water supply services*, 2ª Edição, Londres, IWA Publishing, ISBN: 1843390515.
- Clark R. M., Sivaganesan M., Selvakumar A., Sethi V. (2002). Cost models for water supply distribution systems. *Journal of Water Resources Planning and Management* 128 (5) 312-321.
- Covas D., Cabral M., Pinheiro A., Marchionni V., Antunes S., Lopes N., Mamouros L., Brôco N. (2018). *Custos de construção de infraestruturas associadas ao ciclo urbano da água*. Guia Técnico N.º 23, Instituto Superior Técnico (IST), Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR), ISBN: 978-972-98996-4-5.
- Halhal D., Walters G. A., Ouazar D., Savic D. A. (1997). Water network rehabilitation with structured messy genetic algorithm. *Journal of water resources planning and management* 123 (3) 137-146.
- Kleiner Y., Adams B. J., Rogers J. S. (1998). Long-term planning methodology for water distribution system rehabilitation. *Water resources research* 34 (8) 2039-2051.
- RASARP (2015). *Volume I – Caracterização do setor da água e resíduos*. Relatório Anual dos Serviços de Água e Resíduos em Portugal. Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos (ERSAR).
- Sægrov S., Baptista J. M., Conroy P., Herz R. K., LeGauffre P., Moss G., Oddevald J. E., Rajani B., Schiatti M. (1999). Rehabilitation of water networks: Survey of research needs and on-going efforts. *Urban Water* 1 (1) 15-22.
- Selvakumar A., Clark R. M., Sivaganesan M. Costs for water supply distribution system rehabilitation. *Journal of water resources planning and management* 128 (4) 303-306.
- Walski T. M. (1985) *Cost of water distribution system rehabilitation, repair, and replacement*. Relatório técnico WES/TR/EL-85-5, US Army Corps of Engineers.