

# Metodologia de estimativa da vida útil das adutoras e sub-adutoras de água para avaliação de ativos

*Lifetime estimation methodology of water mains to asset evaluation*



• **Data de entrada:**  
01/11/2017

• **Data de aprovação:**  
15/10/2018


André Schramm Brandão<sup>1\*</sup> | Antônio Eduardo Bezerra Cabral<sup>1</sup> | Ênio Pontes de Deus<sup>1</sup> |  
Marlon Vieira de Lima<sup>1</sup> | Herculano Telino Macau<sup>2</sup>

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.037>

## ORCID ID

Brandão AS  <https://orcid.org/0000-0002-8850-2253>  
Cabral AEB  <http://orcid.org/0000-0001-6394-1164>

Deus EP  <https://orcid.org/0000-0002-3933-0803>

Lima MV  <http://orcid.org/0000-0002-7893-7325>

Macau HT  <https://orcid.org/0000-0003-4117-5926>

## Resumo

Foi elaborada uma metodologia para avaliação da vida útil das infraestruturas utilizadas em sistemas de saneamento básico, especificamente para adutoras e subadutoras de água da Companhia de Água e Esgoto do Ceará. Com o propósito de avaliar as premissas técnicas utilizadas para definição das taxas de depreciação das adutoras e subadutoras de águas bruta e tratada, constante nos laudos do relatório de uma empresa de consultoria contratada, foram considerados o levantamento e a avaliação do ativo operacional e bens de uso geral da Companhia no ano de 2012/2013. A metodologia, os resultados e as conclusões deste estudo de caso, obtidos da implantação do modelo para reavaliação da vida útil das infraestruturas (ativos), especificamente de sistemas adutores e subadutores de água bruta e tratada da Companhia de Água e Esgoto do Ceará, são descritos no presente trabalho.

**Palavras-chave:** Metodologia. Infraestrutura. Saneamento básico. Avaliação de ativos.

## Abstract

*A methodology was elaborated to evaluate the useful life of the infrastructures in basic sanitation systems, specifically for cement and water secondary mains of the Water and Sewage Company of Ceará. In order to evaluate the technical assumptions used to determine the depreciation rates of the wastewater and constant subdivisions and subdivisions, the reports of a contracted consulting firm, General of the Company in the year 2012/2013. The methodology, results and conclusions obtained from the implementation of the model for the revaluation of the useful life of the infrastructures, specifically of water supply and treatment systems of the Water and Sewage Company of Ceará, is described in the present work.*

**Keywords:** Methodology. Infrastructure. Water mains. Asset evaluation.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará - Fortaleza - Ceará - Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal da Paraíba - João Pessoa - Paraíba - Brasil.

\* **Autor correspondente:** andresb@alu.ufc.br.

## 1 INTRODUÇÃO

O Marco Regulatório do Saneamento define um ordenamento para a gestão dos ativos que promovem a universalização dos serviços de água e saneamento ambiental. Segundo a Lei de Saneamento (Lei 11.445/07 - Art. 18), o acompanhamento e o controle dos bens e direitos devem ser individuais para cada município, bem como deve identificar bens e direitos separadamente para cada contrato de programa para que seja possível a avaliação dos ativos, o cálculo da base de remuneração regulatória, da receita requerida e a identificação dos custos por sistema (JULIANO e TADEU F, 2013).

Assim, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará, visando promover ações para o cumprimento da citada lei, e incentivar a gestão de seus ativos, dispõe de estrutura organizacional própria, para buscar ferramentas e promover políticas organizacionais com a finalidade de monitorar e controlar os diversos ativos da organização, abrangendo as perspectivas contábil e operacional. Para esta última, há um grande desafio, que é incluir a gestão da operação e manutenção nas políticas organizacionais na gestão dos ativos, visando projetar a taxa de depreciação adequada, a qual represente a realidade no contexto operacional que, conseqüentemente, incidirá na composição da tarifa de água e esgoto, bem como proporcionar diretrizes para priorizar a reposição das infraestruturas.

Empresas prestadoras de serviços em saneamento básico que operam em todo o mundo têm enfrentado crescentes custos de reabilitação/substituição, muitas vezes em níveis que são financeiramente insustentáveis (ALEGRE e ALMEIDA, 2009).

Ainda segundo ALEGRE e ALMEIDA 2009, dentre as exigências e metas necessárias para a gestão de investimentos estão a melhoria de tecnologias executivas, o monitoramento/controle e os materiais aplicados em tubulações (adutoras e coletores).

### 1.1 Adutoras

Historicamente, tem sido usada uma variedade de materiais e tecnologias na produção de tubos para o abastecimento de água. Por volta de 1700-1450 a.C., a cidade de Knossos, na ilha de Creta, estava em seu apogeu e desenvolveu um sistema de transporte de água que utilizava condutos circulares e distribuíam água para a cidade e para o palácio em tubulações pressurizadas. Estes, possivelmente, foram os primeiros tubos utilizados, já que outras civilizações apenas se utilizavam de canais superficiais (ALEM SOBRI-NHO e MARTINS, 2004).

Um sistema adutor consiste de componentes que são projetados para transportar uma grande quantidade de água ao longo de grandes distâncias, geralmente entre as principais instalações do sistema. As tubulações do sistema adutor geralmente têm diâmetros acima de 300 mm e podem ser construídas tanto abaixo do solo como acima. O comprimento das tubulações pode variar significativamente (SARDEZAS, 2009).

Ainda segundo SARDEZAS (2009), a implantação da infraestrutura de abastecimento de água requer grandes investimentos, portanto os sistemas existentes não podem ser trocados ou melhorados dentro de um curto período de tempo. Geralmente, a idade das tubulações pode ser estimada pelo seu tipo de material. Além disso, comumente, os consumidores individuais não estão diretamente conectados pelas adutoras. Eventualmente, há casos em que as tubulações de distribuição estão conectadas em alguns pontos ao longo do comprimento de uma adutora.

As tubulações normalmente estão sujeitas a diversos tipos de fatores agressivos, que contribuem para a sua degradação prematura ou contínua ao longo do tempo. A seguir, na Tabela 1, estão delineados alguns desses fatores (MELO BAPTISTA e ALEGRE, 2000; SCHRAMM, 2014).

**Tabela 1 - Fatores agressivos das tubulações.**

Fatores agressivos das tubulações			
Internos		Externos	
Hidráulica de Escoamento	Química da água distribuída	Condições geotécnicas, sísmicas e mecânicas	Químicas e físicas do meio (solo, águas intersticiais e radiação solar)
Velocidade de escoamento; pressões de cálculo em regime permanente; transientes hidráulicos.	Potencial Hidrogeniônico (pH); sulfato; cloreto; pH de saturação do carbonato de cálcio (pHs).	Metodologia de assentamento; plasticidade do solo; deslocamento axial em casos de tráfego viário (p. ex. trânsito) e sísmico; deflexões angulares; Intervenção por terceiros;	Potencial Hidrogeniônico (pH); sulfato; cloreto; compostos orgânicos; corrente de fuga; resistividade elétrica.

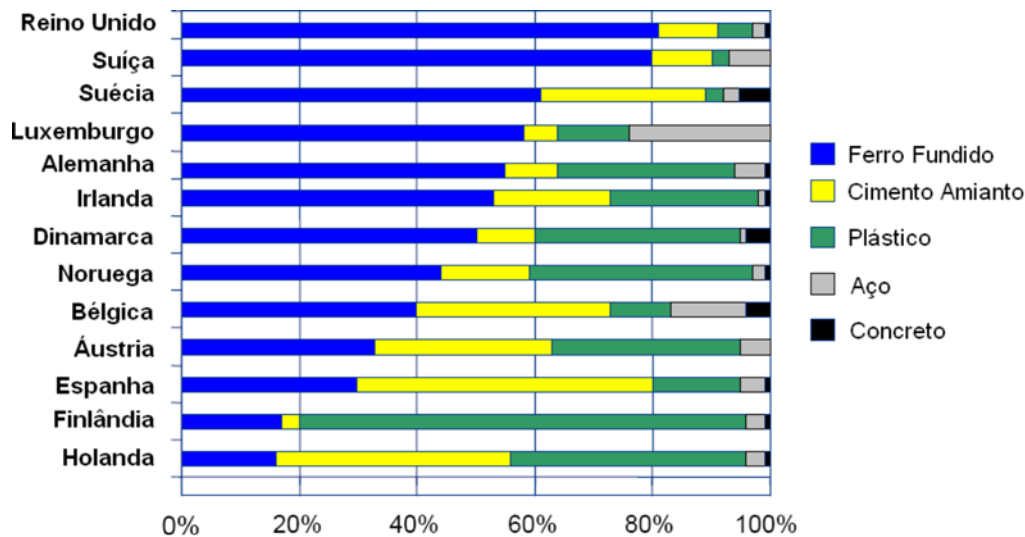
Fontes: MELO BAPTISTA e ALEGRE, 2000; SCHRAMM, 2014

### 1.2 Materiais utilizados

A implantação da infraestrutura de abastecimento de água requer grandes investimentos, portanto os sistemas existentes não podem ser trocados ou melhorados dentro de um curto período de tempo. A idade das tubulações pode ge-

ralmente ser estimada pelo seu tipo de material (SARZEDAS, 2009).

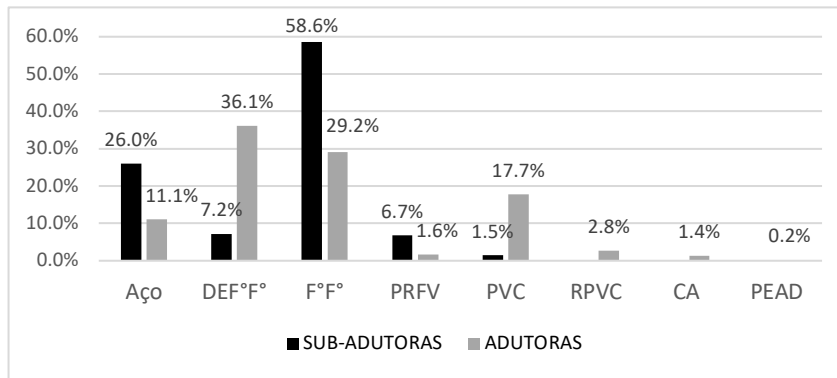
Ainda conforme Sarzedas, a distribuição de materiais nos sistemas existentes varia entre países e municípios. Rajani e Kleiner (2004) apresentam na Fig. 1 um sumário de materiais de rede de distribuição de 13 países europeus.



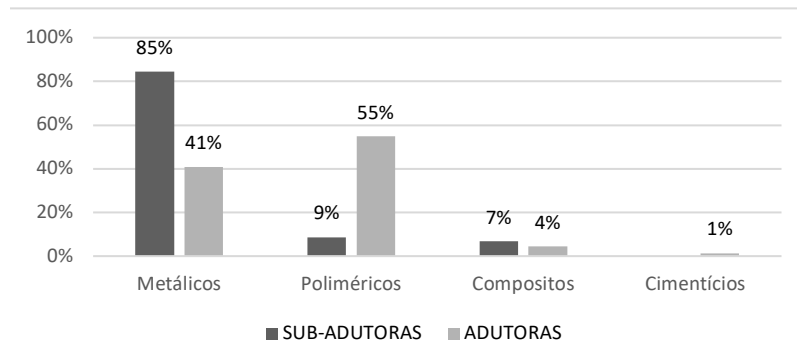
**Figura 1 – Materiais das tubulações em países europeus (Rajani e Kleiner, 2004)**

Os dados de diferentes países mostram que, em média, o ferro fundido é o material predominante das tubulações.

A base de dados de ativos em estudo, adutoras e sub-adutoras por material está apresentada na Fig. 2, e na Fig. 3 é apresentada quanto à classificação do material.



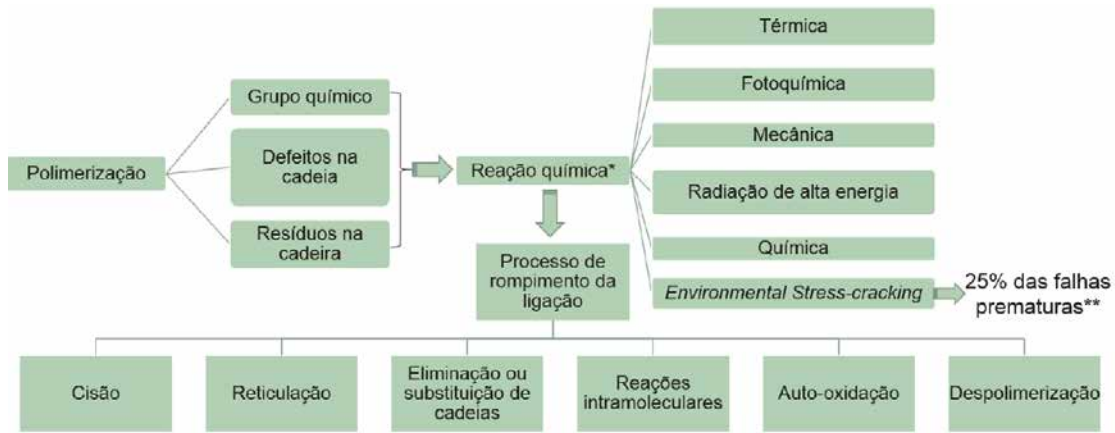
**Figura 2** - Distribuição de adutoras e sub-adutoras por tipo de material  
 Fonte: Autor (a partir de tratamentos da base de ativos, 2012/2013).



**Figura 3** - Distribuição dos ativos por classificação de materiais  
 Fonte: Autor (a partir de tratamentos da base de ativos, 2012/2013).

Os materiais metálicos estão predominantemente presentes nas infraestruturas de adução de água, assim o principal meio de degradação dessa classe de material é a corrosão. Segundo MALHEIRO et al. (2017), a corrosão é um processo de destruição do metal, progredindo através de sua superfície.

Já a deterioração dos materiais poliméricos é apresentada na Fig. 4 (segundo BRANDÃO, 2014), onde deve-se ter uma atenção especial ao *Environmental Stress-Cracking*, pois representa 25% das falhas prematuras dessa classe de material.



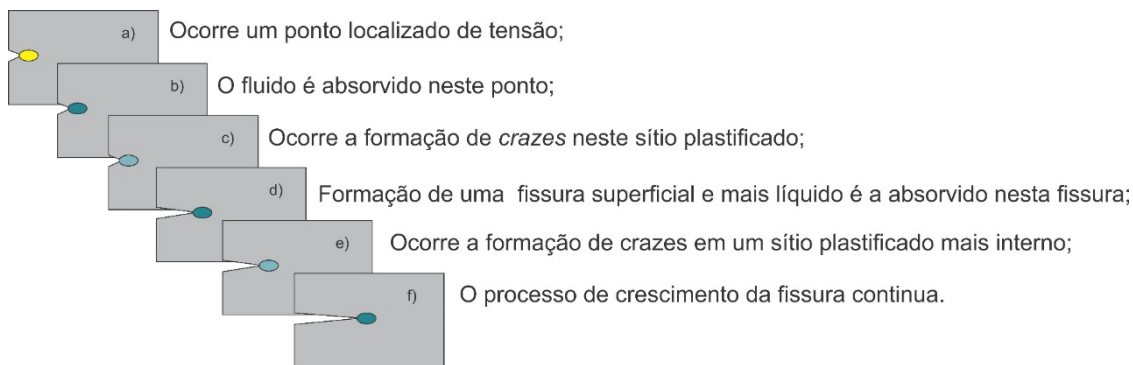
**Figura 4** - Reações de degradação de polímeros  
 Fonte: BRANDÃO, 2014.

Para os materiais compósitos, que são predominantemente em Polímero Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) ou PRFV com liner de Policloreto de Vinila (RPVC), os processos de degradação são semelhante aos de materiais poliméricos, como apresentado na Fig. 4.

No tocante aos materiais cimentícios, que na base de ativos em estudo são representados pelos materiais de Cimento Amianto, segundo Relatório Técnico nº85 176-205 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2006), a degradação do cimento-amianto pode ser de origem mecânica, química ou biológica. Não obstante, esse mate-

rial utilizado nas infraestruturas de saneamento básico está também suscetível a ações associadas, *Environmental Stress Cracking (ESC)*, semelhante dos materiais poliméricos.

Segundo DE PAOLI (2008), o *ESC* é definido como o fenômeno de formação de fissuras, internas ou externas, causadas pelos efeitos da sollicitação mecânica com valores menores ao admissível pelo material para provocar ruptura em um intervalo de tempo curto, e pode ser acelerado pela presença de um agente no meio agressivo, como apresentado esquematicamente na Fig. 5.



**Figura 5** - Esquema do processo de formação de crazes, ESC  
 Fonte: BRANDÃO, 2014.

### 1.3 Fatores agressivos internos

Os fatores agressivos internos são aqueles que atuam internamente nas tubulações com a característica de qual e como o fluido é transportado de um ponto a outro. A identificação da atuação destes agentes internos não é de fácil detecção, havendo por vezes a necessidade de empregar-se tecnologias de inspeção mais onerosas, como o monitoramento interno da tubulação com a utilização de câmeras e infravermelho (MELO BAPTISTA e ALEGRE 2000; SCHRAMM, 2014).

#### 1.3.1 Características hidráulicas do escoamento

Segundo SCHRAMM (2014), a velocidade de escoamento e as pressões constituem os principais fatores agressivos decorrentes das condições hidráulicas, qualquer que seja o material.

Ainda segundo SCHRAMM (2014), é imprescindível conhecer os mecanismos que causam os transientes, principalmente nos sistemas de recalque, onde ocorre a variação brusca das pressões de trabalho, sendo por interrupção do fornecimento de energia elétrica, afetando o funcionamento dos conjuntos motor-bomba, ou sendo na operação de reinício do bombeamento. Faz-se também indispensável conhecer a atuação dos sistemas de proteção contra o golpe de aríete.

Os efeitos dos fatores internos agressivos concernentes às características hidráulicas de escoamento ocorrem em várias partes de um sistema de abastecimento, e estas devem ser quantificadas pelos projetistas na fase de concepção do projeto.

#### 1.3.2 Características químicas da água transportada

Segundo Schramm (2014), os parâmetros relevantes de agressividade da água distribuída so-

bre as tubulações são: potencial hidrogeniônico (pH); dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ); cloreto ( $\text{Cl}^-$ ); reações que geram o metano ( $\text{CH}_4$ ); ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Este último é mais comumente encontrado em sistemas de esgotamento sanitário.

A definição do quantitativo dos parâmetros dos compostos químicos deve se basear nos resultados de monitoramento da qualidade da água, sendo que tais dados devem ser representativos, de acordo com a idade da unidade operacional (adutora) (SCHRAMM, 2014).

Segundo SOUZA e RIPPER (1998), a penetração de íons de cloreto ocorre mediante a estrutura porosa ou como componente dos elementos constituintes. De acordo com SIQUEIRA et al. (2017), existem quatro mecanismos de penetração de íons cloreto: absorção, difusão iônica, permeabilidade e migração iônica. O ataque por íons de cloreto em tubulações é predominante, como apresentado na Fig. 4.

Segundo LASTORIA (2002) e FEITOSA (2008), o comportamento agressivo ou incrustante das águas é verificado por meio da correlação entre o pH medido e o pH de equilíbrio ou saturação (pHe). Sua tendência corrosiva/incrustante determina se ocorrerão essas alterações no sistema e podem ser avaliadas pelo Índice de Saturação de Ryznar (RSI), dentre outros.

Esse parâmetro, proposto em 1944 (FERRAZ, 2007; AL-RAWAJFEH, 2004; McNEILL, 2000), aponta para o estado de saturação de carbonato de cálcio, representado pela Eq. 1, com a interpretação dos resultados consonante ao apresentado na Tabela 2.

Ainda de acordo com AL-RAWAJFEH (2004), o cálculo é feito tomando-se a diferença entre duas vezes o pHe (Eq. 1) e o pH medido da água, quan-

do aquela mesma água se apresenta saturada com CaCO<sub>3</sub> ou em equilíbrio ou saturação (pHe), onde o parâmetro é obtido pela relação entre os coeficientes A, B, C e D (Eq. 2), determinados pelas respectivas Eq. 3, 4, 5 e 6, sendo, novamente, a interpretação dos resultados conforme Tabela 3.

$$RSI = (2 \times pHe) - pH \quad (1)$$

$$pHe = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad (2)$$

Onde:

$$A = [\log(STD - 1)] / 10 \quad (3)$$

$$B = [-13,12 \times \log(T + 273)] + 34,55 \quad (4)$$

$$C = \log(Ca^{2+}) - 0,4 \quad (5)$$

$$D = \log(Alc) \quad (6)$$

**Tabela 2** - Classificação dos valores obtidos com a aplicação do RSI.

Valor RSI	Indicação
RSI < 6	Tendência a Incrustação
6 < RSI < 7	Balancedo
RSI > 7	Tendência a Corrosão

Fonte: Adaptado (GRADES, 2004).

\*Notas: STD é o Total de Sólidos Dissolvidos (mg/l); Ca<sup>2+</sup> é a concentração de Ca<sup>2+</sup> como CaCO<sub>3</sub> (mg/l); Alc é a alcalinidade como CaCO<sub>3</sub>; T é a temperatura em °C.

## 1.4 Fatores agressivos externos

Os fatores agressivos externos são provenientes de ações do meio ambiente sobre a unidade operacional. Sua atuação torna-se mais visível, sendo de fácil detecção, não sendo necessárias tecnologias rebuscadas na inspeção (MELO BAPTISTA E ALEGRE, 2000; SCHRAMM, 2014).

### 1.4.1 Características químicas e físicas do meio

As características químicas das águas intersticiais (subterrâneas), presentes no solo, lençol freático, são resultados da reação do meio geológico com a água de recarga subterrânea. Os níveis dos seus compostos dependem diretamente das reações físicas, químicas e biológicas entre esses dois meios, os quais resultam, essencialmente, da circulação e do tempo de contato água e solo/rocha. Esses compostos podem se potencializar com as ações antropogênicas, diretas ou indiretas, causadas de ordem diversa, com a poluição das águas de recarga com esgotos domiciliares e industriais (ALEGRE et al., 2000; SHCRAMM, 2014).

Os parâmetros químicos relevantes a se procurar são: potencial hidrogeniônico (pH); dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); sulfato (SO<sup>-2</sup>); cloreto (Cl<sup>-</sup>); e compostos orgânicos.

Segundo ALEGRE (2000), as características físicas relevantes a serem identificadas são: resistividade elétrica, correntes de fuga oriundas de infraestruturas adjacentes e radiação solar. A definição dos compostos químicos deve se basear nos levantamentos de campo, por intermédio de coleta de amostras representativas do solo e águas intersticiais ao longo da área de influência do traçado da adutora. A metodologia para o levantamento deve estar consonante com as normas internas da entidade gestora do sistema e com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Na ausência ou lacuna dessas, deve-se recorrer às normas internacionais europeias, como a norma DIN 38 414 - parte 4 (SCHRAMM, 2014). Os ensaios de resistividade elétrica devem ser efetuados in situ pelo método de Wenner, conforme NBR 7117:1981 - Medição da resistividade do solo no método dos 4 pontos.

Quando se trata de compostos orgânicos e correntes de fuga, não foram identificados métodos normativos capazes de aferir tais agentes, sendo sua detecção meramente subjetiva no primeiro momento (MELO BAPTISTA E ALEGRE, 2000).



#### 1.4.2 Características geotécnicas, sísmicas e mecânicas

As tubulações enterradas estão susceptíveis a ocorrências por forças vetoriais externas. O sistema adutor deve ser capaz de absorver essas solicitações quando previstas, tratando o seu conjunto como um elemento estrutural (SCHRAMM, 2014).

Para investigação das ações naturais, faz-se necessário basear-se em cálculos analíticos, levando-se em consideração alguns pressupostos, com apoio de cartas geológicas e de estudos específicos do comportamento sísmico.

Segundo SCHRAMM (2014), as ações antrópicas afetam a confiabilidade e a vida útil do sistema adutor. Este deve ter seu traçado sob via pública, permitindo sua manutenção. A seguir destacam-se alguns pontos críticos recorrentes no cotidiano das cidades com medidas adequadas para solucioná-los:

- Intervenções em vias públicas desarticuladas: os acometimentos desses eventos podem ser evitados com a integração entre os órgãos responsáveis pelas infraestruturas públicas, formando um cadastro único, e de leis de utilização do solo e subsolo;
- Instalação inadequada do sistema adutor: deve-se obedecer às premissas do projeto e à recomendação dos fornecedores para o assentamento de cada tipo de material, atentando para as profundidades e as faixas de domínio da adutora;

- Reparação deficiente: a recuperação dos pontos avariados deve ser acautelada de procedimentos de manutenção claros e bem definidos para cada tipo de material, evitando assim a multiplicidade de solução e utilização de materiais incompatíveis.

#### 1.5 Causas das Falhas

Conforme SARZEDAS (2009), a taxa de deterioração variará conforme o tipo de tubulação, a qualidade da água e as práticas de operação e manutenção.

As causas das falhas nas tubulações têm sido identificadas por vários autores (MORRIS JR., 1967; SHAMIR e HOWARD, 1979; O'DAY, 1982). Dentre os fatores levantados por Morris Jr (1967) estão a corrosão interna e as oscilações ou transitórios hidráulicos.

SHAMIR e HOWARD (1979) apresentaram em seu estudo a classificação de razões para quebras da tubulação, dentre elas a qualidade e a idade da tubulação, além das condições operacionais.

O'DAY (1982) dividiu as principais causas de quebras das tubulações em três categorias: excesso de carga, temperatura e corrosão. O'Day et al. (1986) relatam 5 tipos de corrosão, alguns ocorrendo apenas internamente à tubulação, e outros, tanto interna como externamente, como apresentado na Tabela 3 abaixo.



**Tabela 3** – Tipos de Corrosão

Tipo	Localização	Descrição
Tuberculização	Interna	O desenvolvimento de tubérculos resulta na obstrução do interior da tubulação, acarretando em redução da capacidade hidráulica. Atividades biológicas associadas com a tuberculização podem acelerar o processo de corrosão.
Corrosão de erosão	Interna	A má aderência de produtos da corrosão na parede da tubulação resulta na repetitiva formação e destruição de filmes da superfície. A parede corroída é continuamente exposta a futuros ataques.
Corrosão de fenda	Interna	A natureza da área de superfície envolvida restringe a difusão. Essa forma de corrosão ocorre principalmente em juntas, superfícies sob material particulado ou imperfeições no revestimento de cimento devido à exclusão de O <sub>2</sub> ou acumulação de íons de metal entre um depósito.
Pontos de Corrosão	Interna / Externa	Ataque corrosivo localizado resultante da penetração em lugares pontuais do metal. Ocorre principalmente em pontos onde a tubulação está em contato com solos corrosivos.
Grafitização	Interna / Externa	A retirada de ferro da estrutura metálica resulta numa redução efetiva da espessura da parede da tubulação, visto que a grafite remanescente não garante a integridade estrutural.

Fonte: O'DAY et al., 1986.

A maioria dos fatores é constante com o tempo, mas alguns seriam dependentes do tempo, como o tráfego, a qualidade da água e a velocidade da água (SARZEDAS, 2009).

### 1.6 Depreciação das Infraestruturas

LI e HAIMES (1992) desenvolveram um modelo semi-Markov para descrever o processo de deterioração numa rede de abastecimento de água. Os “estados” Markov representados são: o estado da operação (funcionamento e reparo) e o número de quebras ocorridas.

Segundo LOPES (1995), dentre os métodos existentes para avaliação, o método de Ross-Heidecke é o que melhor e mais claramente trata sobre a depreciação. O uso desse método tem como vantagem o fato de o mesmo recorrer ao conhecimento de itens de fácil verificação, sendo eles:

vida útil, idade real e seu estado. A Tabela 4 de Ross-Heidecke é apresentada a seguir.

Segundo BUSTAMANTE (2000) e IBAPE (2007), o método de Ross-Heidecke considera os seguintes princípios como básicos:

- A depreciação é a perda de valor que não pode ser recuperada com gastos de manutenção;
- As reparações apenas dilatam a durabilidade do bem;
- A conservação regularmente realizada leva à depreciação de modo regular, enquanto um bem mal conservado sofre depreciação mais rapidamente.

Os dados de idade real (ou idade ativa do bem) e vida útil são variáveis tangíveis, constantes, respectivamente, nos sistemas administrativos da organização e literaturas ou informadas por fornecedores. Já quanto a seu estado, é uma variável aparentemente qualitativa.

**Tabela 4** - Tabela de Ross-Heidecke para avaliação de equipamentos

Vida Útil %	Ótimo	Bom	Ruim	Péssimo	Vida Útil %	Ótimo	Bom	Ruim	Péssimo
2	1.0	3.5	18,9	53,1	52	39.5	41.0	50.5	71.3
4	2.1	4.6	19.8	53.6	54	41.6	43.0	52.1	72.3
6	3.2	5.6	20.7	54.1	56	43.7	45.1	53.9	73.3
8	4.3	6.7	21.6	54.6	58	45.8	47.2	55.6	74.3
10	5.5	7.9	22.6	55.2	60	48.0	49.3	57.4	75.3
12	6.7	9.1	23.6	55.8	62	50.2	51.5	59.2	76.4
14	8.0	10.3	24.6	56.4	64	52.5	53.7	61.1	77.5
16	9.3	11.6	25.7	57.0	66	54.8	55.9	63.0	78.6
18	10.6	12.9	26.8	57.6	68	57.1	58.2	64.9	79.7
20	12.0	14.2	27.9	58.3	70	59.5	60.5	66.8	80.8
22	13.4	15.6	29.1	59.0	72	61.9	62.9	68.8	81.9
24	14.9	17.0	30.3	59.6	74	64.4	65.3	70.8	83.1
26	16.3	18.5	31.5	60.4	76	66.9	67.7	72.9	84.3
28	17.9	20.0	32.8	61.1	78	69.4	70.2	74.9	85.5
30	19.5	21.5	34.1	61.8	80	72.0	72.7	77.1	86.7
32	21.1	23.1	35.4	62.6	82	74.6	75.3	79.2	88.0
34	22.8	24.7	36.8	63.4	84	77.3	77.8	81.4	89.2
36	24.5	26.4	38.1	64.2	86	80.0	80.5	83.6	90.5
38	26.2	28.1	39.6	65.0	88	82.7	83.2	85.8	91.8
40	28.0	29.9	41.0	65.9	90	85.5	85.9	88.1	93.1
42	29.9	31.6	42.5	66.7	92	88.3	88.6	90.4	94.5
44	31.7	33.4	44.0	67.6	94	91.2	91.4	92.8	95.8
46	33.6	35.2	45.6	68.5	96	94.1	94.2	95.1	97.2
48	35.5	37.1	47.2	69.4	98	97.0	97.1	97.6	98.6
50	37.5	39.1	48.8	70.4	100	100.0	100.0	100.0	100.0

Fonte: LOPES, 1995.

## 2 MATERIAIS E METODOLOGIA

Foram realizadas as seguintes atividades para a elaboração da metodologia de avaliação:

- Seleção e extração das infraestruturas (ativos) cadastradas no banco de dados do ERP PRO-THEUS, referentes aos grupos de adutoras e subadutoras de água bruta e tratada de todo o estado do Ceará. Esses dados são apresentados no anexo;
- Análise das premissas técnicas utilizadas para avaliação das infraestruturas e conhecimento da definição das taxas de depreciação;
- Levantamento de dados, informações técnicas e operacionais das infraestruturas, especificamente para sistemas adutores e subadutores da água, assim como as Unidades de Negócios da Companhia de Água e Esgoto do Ceará;
- Identificação de desvios cadastrais das infraestruturas, comparativamente dos itens 1 e 3;

- Levantamento de referencial teórico para proposição do modelo de reavaliação das taxas de depreciação das infraestruturas para sistemas adutores e subadutores de água;
- Identificação de sistemas informatizados existentes, tanto comerciais quanto operacionais, seja em tempo real ou não, para sistematizar e apoiar a aplicação do modelo;
- Extração de dados comerciais, técnicos e operacionais para a aplicação no modelo;
- Projeção da vida útil das infraestruturas (adutoras e subadutoras) e suas respectivas taxas de depreciação.

Para a variável “o estado do bem” a ser aplicada na Tabela 4 de avaliações de Ross - Heidecke, para equipamentos, buscou-se controlar a subjetividade dessa variável qualitativa à aplicação

deste modelo. Logo, definiram-se as premissas do Estado da Infraestrutura, levando em consideração aspectos hidráulicos e operacionais da utilização das infraestruturas sob análise.

### 2.1 Premissas de Avaliação do Estado da Infraestrutura (Modelo Hidráulico- Operacional)

Para estabelecer a classificação geral das adutoras foram considerados como condicionantes críticas as variáveis seguintes.

- a) Idade ativa das adutoras (IA);
- b) Quantidade de ocorrências de vazamentos registradas (Oc);
- c) Pressão no trecho (P);
- d) Velocidade crítica no trecho (v).

Para a alínea “a”, a fonte de dados é o sistema informatizado ERP PROTHEUS. Já para as demais alíneas acima, as fontes de dados estão no sistema SCADA, que monitora e controla a automação da macrodistribuição de água na Região Metropolitana de Fortaleza, localizado no Centro de Controle e Operações (CECOP). No sistema SCADA, tanto registram-se as ocorrências operacionais (vazamentos) quanto as variáveis hidráulicas, tais como pressão e vazão, nas infraestruturas de adução.

A cada variável analisada foram atribuídos graus de subclassificação, sendo considerado no parâmetro:

- IA: o tempo ativo em anos da adutora;
- Oc: a quantidade de ocorrências em um período de 1 (um) ano;
- P: a quantidade do tempo médio mensal em que a pressão no trecho esteve acima da pressão máxima suportada na adutora existente;

- v: a quantidade do tempo médio mensal em que a velocidade crítica no trecho esteve acima de 6 m/s (MELO, 1996; FREIRE 2000).

Na Tabela 5, que será apresentada, está a definição dos graus de subclassificação avaliados para cada variável e o estado relacionado. Para cada variável e estado da variável foram ponderados os pesos e os valores, respectivamente, conforme explanará a Tabela 6.

Após enquadramento da situação existente nas adutoras frente aos parâmetros e estados, aplica-se a Eq. 7, atribuindo o resultado, considerando seu peso e seu valor de estado da variável por trecho, como segue.

$$\text{Peso da variável no trecho (p)} \times \text{Valor do estado da variável (V)} \tag{7}$$

Por fim, chega-se à classificação final para enquadrar a condição do ativo no trecho considerando a somatória das 4 (quatro) variáveis, resultante da Eq. 7.

Assim, para avaliação final, tem-se a Eq. 8 a seguir.

$$\text{Somatória } (\Sigma) = \text{Resultado "IA"} + \text{Resultado "Oc"} + \text{Resultado "v"} + \text{Resultado "P"} \tag{8}$$

**Tabela 5** - Definição dos graus de subclassificação

Variável	Grau	Estado
IA (tempo em anos)	0 a 10	Ótimo
	10 a 30	Bom
	30 a 50	Regular
	Acima de 50	Péssimo
Oc (quantidade)	0 a 2	Ótimo
	2 a 3	Bom
	4 a 10	Regular
	Acima de 10	Péssimo
v e P (quantidade % de dados)	Menos de 10% acima do limite	Ótimo
	Entre 10% e 30% acima do limite	Bom
	Entre 30% e 50% acima do limite	Regular
	Acima de 50% acima do limite	Péssimo

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

**Tabela 6** - Definição de pesos para cada variável e estado

Variável	Peso (p)	Estado	Valor (V)
IA	5,5	Ótimo	4
Oc	3	Bom	3
v	0,5	Regular	2
P	1	Péssimo	1

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

**Tabela 7** - Tabela de enquadramento do estado das infraestruturas para Ross-Heidecke

Resultado da Somatória ( $\Sigma$ )	Escala	Condição	Representação
	Menos de 10	Péssimo	D
	Entre 10 e 20	Regular	C
	Entre 20 e 30	Bom	B
	Entre 30 e 40	Ótimo	A

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

A corrosão interna depende das características da água transportada, onde podemos citar o pH e as quantidades de Sulfeto e Cloreto. Para tanto, o monitoramento da qualidade da água para fins potáveis, além de promover o monitoramento da mesma para este fim, também nos fornece informações sobre o estado da mesma quanto a sua agressividade aos materiais das infraestruturas.

Assim, a fim de considerar a qualidade do fluido transportado na análise de avaliação do estado das infraestruturas, tendo em vista a susceptibilidade de corrosão interna das infraestruturas diante da qualidade da água transportada, aplicou-se o Índice de Saturação de Ryznar aos dados extraídos do monitoramento diário da qualidade da água no sistema de abastecimento, extraídos pelo sistema informatizado de qualidade da água, WEBLAB.

Logo, caso a predominância do fluido transportado (acima de 50%), ao longo do tempo, tenha tendência corrosiva ( $RSI > 7$ ), acrescenta-se uma casa às condições encontradas pela Tabela 7. Isto é, caso o enquadramento de um determinado grupo de infraestrutura for “B”, se o fluido adu-

zido estiver predominantemente com tendência corrosiva, define-se um novo enquadramento daquele determinado grupo para “C”.

## 2.2 Avaliação das Infraestruturas (Modelo de Ross-Heidecke)

Para reavaliação da taxa de depreciação dos grupos das infraestruturas em questão (ativos), e considerando como linha de base o relatório de avaliação dos mesmos, bem como utilizadas as informações de data de implantação e data da análise (31 de dezembro de 2015), encontra-se a vida ativa efetiva e a vida útil remanescente dos equipamentos.

Assim, pela razão da vida útil efetiva e pelo prazo de vida útil do bem, é possível encontrar o fator a ser utilizado diretamente na tabela de Ross-Heidecke.

Esse procedimento foi realizado sobre todos os bens listados no grupo adutora e subadutora de água, trazendo como resultado a vida útil remanescente e, conseqüentemente, a taxa de depreciação de cada equipamento.

Para obter a vida útil por tipo de equipamento (subgrupos), adotou-se a média aritmética das vidas úteis encontradas, uma a uma. Desse modo, o valor da média representa a nova vida útil do bem quando o mesmo é adquirido, identificado como equipamento novo.

Para que cada equipamento fosse adotado com a mesma vida útil de um bem novo, foi encontrada a vida útil remanescente, subtraindo o valor da vida útil média do subgrupo pela vida útil ativa. Assim, tem-se a nova vida útil remanescente e, conseqüentemente, a nova taxa anual de depreciação do equipamento.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da aplicação do modelo hidráulico-operacional, empregado nos ativos da Região

Metropolitana de Fortaleza (incluindo os municípios de Fortaleza, Caucaia e Maracanaú), estão apresentados nas Tabela 8, 9 e 10 a seguir.

**Tabela 8** – Resultados do modelo hidráulico-operacional da Região Metropolitana de Fortaleza (Sub-adutoras)

Subgrupos	Aquisição	IA	Oc	v	P	Avaliação
SUBADUTORA AÇO D1600	1981	C	A	A	A	B
SUBADUTORA AÇO D1400	1981	C	A	A	A	B
SUBADUTORA AÇO D1200	1981	C	A	A	A	B
SUBADUTORA FºFº D1200	1981	C	A	A	A	B
SUBADUTORA AÇO D800	1985	C	C	D	A	B
SUBADUTORA FºFº D900	1985	C	A	A	A	B
SUBADUTORA FºFº D800	1981	C	B	A	A	B
SUBADUTORA FºFº D1200	1981	C	A	A	A	B
SUBADUTORA FºFº D550	1972	D	A	A	A	B
SUBADUTORA AÇO D900	1972	D	A	A	A	B
SUBADUTORA AÇO D550	1972	D	C	A	A	C
SUBADUTORA FºFº D380	1972	D	A	A	A	B
SUBADUTORA FºFº D550	1972	D	A	A	A	B
SUBADUTORA FºFº D550	1972	D	A	A	A	B
SUBADUTORA FºFº D550	1973	D	B	A	A	B
SUBADUTORA PVC D200	1982	C	B	A	A	B
SUBADUTORA AÇO D700	1985	C	B	A	A	B
SUBADUTORA FºFº D400	1996	B	A	A	A	A
SUBADUTORA AÇO D450	1987	B	A	A	A	A
SUBADUTORA FºFº D900	1985	C	B	A	A	B
SUBADUTORA FºFº D700	1984	C	A	A	A	B
SUBADUTORA FºFº D400	1976	C	B	A	A	B
SUBADUTORA FºFº D500	1987	B	A	B	A	A
SUBADUTORA PRVF D400	2006	A	B	A	A	A
SUBADUTORA PRVF D300	2006	A	B	A	A	A
SUBADUTORA DE FºFº D200	2006	A	B	A	A	A
SUBADUTORA DE FºFº D250	2007	A	B	A	A	A
SUBADUTORA DE FºFº D300	2008	A	B	A	A	A
SUBADUTORA FºFº D1000	2000	B	B	A	A	A
SUBADUTORA AÇO D1000	2009	A	A	A	A	A

**Fonte:** Dados provenientes do sistema SCADA do Centro de Controle e Operações da Macrodistribuição da Região Metropolitana de Fortaleza, sob a gerência da Unidade de Negócios de Macrodistribuição e Produção de Água, ano 2016.

**Tabela 9** - Resultados do modelo hidráulico-operacional da Região Metropolitana de Fortaleza (Adutoras de Água Tratada)

Subgrupos	Aquisição	IA	Oc	v	P	Avaliação
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D200	1982	C	B	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D600	1984	C	C	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D500	1984	C	C	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D500	1987	C	A	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D800	1983	C	B	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D550	1984	C	A	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D500	1986	B	A	A	A	A
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D550	1986	B	A	A	A	A
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D500	1983	C	A	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D600	1984	C	B	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA PVC D200	1980	C	B	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D550	1978	C	A	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA AÇO D800	1973	C	B	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA AÇO D800	2000	B	B	A	A	A
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA AÇO D150	2000	B	B	A	A	A
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D800	2000	A	B	A	A	A
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D900	2000	A	B	A	A	A
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D600	2000	A	A	A	A	A
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA AÇO D1400	2006	A	A	A	A	A
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D700	2006	A	A	A	A	A
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº D800	2006	A	B	A	A	A
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA PRVF D600	2006	A	B	A	A	A
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA PRVF D400	2006	A	A	A	A	A
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA PRVF D500	2006	A	A	A	A	A

**Fonte:** Dados provenientes do sistema SCADA do Centro de Controle e Operações da Macrodistribuição da Região Metropolitana de Fortaleza, sob a gerência da Unidade de Negócios de Macrodistribuição e Produção de Água, ano 2016.

**Tabela 10** - Resultados do modelo hidráulico-operacional da Região Metropolitana de Fortaleza (Adutoras de Água Bruta)

Subgrupos	Aquisição	IA	Oc	v	P	Avaliação
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA FºFº D600	1981	C	A	A	A	A
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA FºFº D400	1984	C	B	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA FºFº D400	1980	C	B	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA DE FºFº D300	1976	C	B	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA FºFº D400	1984	C	B	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA FºFº D300	1984	C	B	A	A	B
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA FºFº D400	1985	C	B	A	A	B

**Fonte:** Dados provenientes do sistema SCADA do Centro de Controle e Operações da Macrodistribuição da Região Metropolitana de Fortaleza, sob a gerência da Unidade de Negócios de Macrodistribuição e Produção de Água, ano 2016.

São utilizados vários critérios para avaliar a tendência corrosiva ou incrustante da água, dentre os quais destacam-se os índices de saturação de Langelier, Ryznar, Larson e Puckorius. Não obstante o primeiro seja o mais difundido, tendo em vista que os cálculos efetuados com a amostragem estabelecida apontam claramente para uma tendência preponderantemente corrosiva, adotou-se o índice de Ryznar em virtude de o mesmo evidenciar uma condição mais severa para os sistemas

averiguados, considerando ser mais compatível com outras informações correlacionadas, tais como a idade do material, os regimes de escoamento, as temperaturas médias, dentre outras.

Assim, considerando o estado ou a ausência de dispositivos de proteção contra corrosão (proteção catódica) e os resultados provenientes da qualidade da água, levantados por meio dos dados do sistema informatizado WEBLAB duran-

te os meses do ano de 2015, da área de abrangência das infraestruturas em questão (região metropolitana de Fortaleza - RMF, incluindo os municípios de Caucaia e Maracanaú), predominantemente há uma tendência à corrosão.

Logo, ao final da avaliação, todos os subgrupos migraram para uma avaliação mais conservadora, sendo assim aquelas que foram classificadas em “A” para “B”, as classificadas em “B” para “C”, e as classificadas em “C” para “D”.

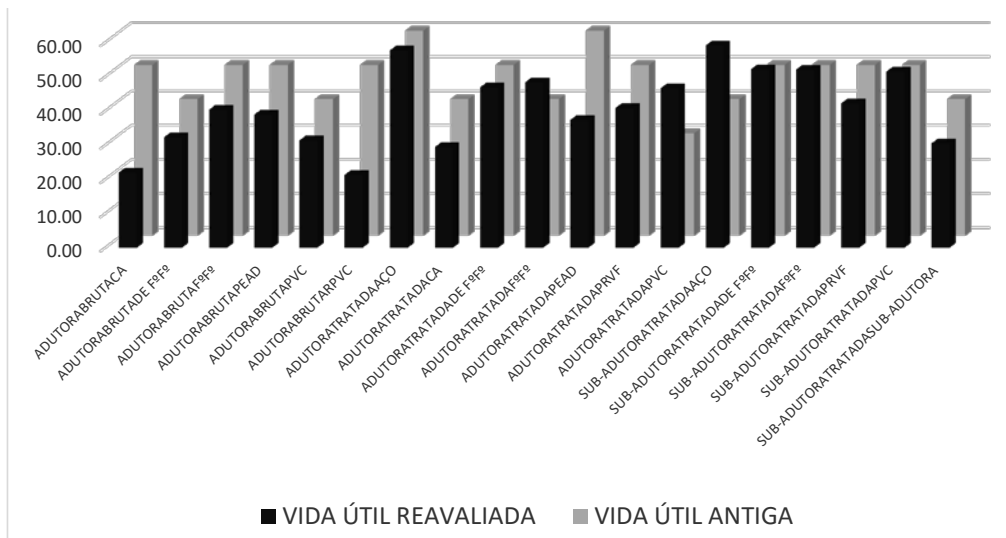
Os estados das infraestruturas instaladas no interior foram avaliados projetando-se a partir dos resultados apresentados dos grupos e subgrupos avaliados da Região Metropolitana de Fortaleza.

Desta forma, foi obtida a Tabela 11 aplicando-se os resultados encontrados acima no modelo de avaliação de ativos de Ross-Heidecke, sendo observada a reavaliação final para equipamento novo. Também pode-se verificar a comparação dos resultados da vida útil antiga versus vida útil reavaliada na Fig. 6.

**Tabela 11** – Avaliação final dos equipamentos novos para infraestruturas da CAGECE (anos)

Especificação	Vida útil atual*	Reavaliação**
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA DE FºFº	50	32,25
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA FºFº	50	40,33
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA PEAD	40	38,90
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA PVC	50	31,37
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA RPVC	30	21,28
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA DE CA	40	22,00
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA AÇO	60	57,65
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA PRFV	40	40,85
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA CA	40	29,40
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA DEFºFº	50	46,86
ADUTORA DE ÁGUA TRATADA FºFº	50	48,36
ADUTORA DE AGUA TRATADA PEAD	40	37,33
ADUTORA DE AGUA TRATADA PVC	50	46,61
SUB-ADUTORA AGUA TRATADA DE AÇO	60	59,13
SUB-ADUTORA DE AGUA TRATADA DEFºFº	50	52,07
SUB-ADUTORA AGUA TRATADA DE PRFV	40	42,20
SUB-ADUTORA DE AGUA TRATADA DE PVC	50	51,50
SUB-ADUTORA DE AGUA TRATADA DEFºFº	50	52,17

Fonte: Autor

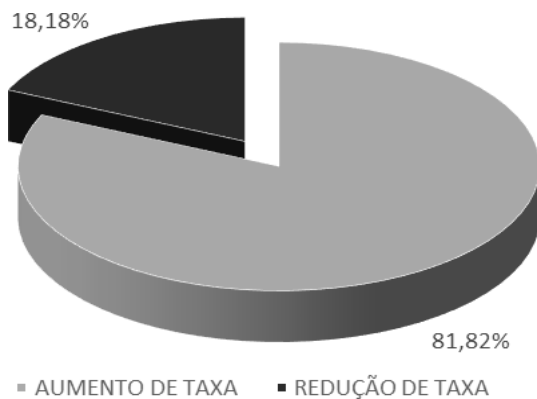


**Figura 6** – Comparativo dos resultados da vida útil antiga versus vida útil reavaliada.

Fonte: Autor (a partir de tratamentos dos resultados do modelo de avaliação).



Com base na redução das vidas úteis dos equipamentos, 81,82% tiveram um aumento das suas taxas de depreciação, conforme demonstrado na Fig. 7, a qual apresenta o estudo comparativo do aumento versus a redução das taxas de depreciação reavaliadas.



**Figura 7** - Estudo comparativo do aumento versus da redução das taxas de depreciação reavaliadas.

Fonte: Autor (a partir de tratamentos dos resultados dos modelos).

#### 4 CONCLUSÕES

Para as infraestruturas de água bruta, houve variações significativas quanto a sua reavaliação. Tal fato deve-se às condições de instalação e operação aos quais estão submetidas.

Identificou-se que as adutoras de água bruta de cimento amianto foram as que apresentaram maiores reduções em suas vidas úteis, pois o material é de difícil reposição, e não mais empregado em sistemas novos. Logo, o bem deprecia-se mais rápido, tendo uma exaustão acelerada.

As adutoras de água tratada não tiveram variações significativas, acima de 7%. Excetuando-se a adutora de cimento amianto, que pelo mesmo motivo acima não é mais empregado para sistemas novos.

Para os materiais existentes aplicados nas subadutoras, excetuando o RPVC, não houve varia-

ções significativas acima de 4%, sendo razoável e adequada para a realidade.

Além disso, para as subadutoras em material de RPVC, são requisitados cuidados extras na instalação e no meio suporte (berço e reaterro), pois podem comprometer sua vida útil. No entanto, dentro da análise realizada, demonstrou-se uma variação positiva de 6%, sendo razoável pelas condições técnicas e operacionais.

Não foram consideradas na análise da reavaliação das taxas de depreciação dos bens, objeto deste trabalho, as cargas externas provenientes das interferências e do tráfego das vias.

Por fim, como apresentado na Fig. 6, percebe-se que 81,82% das tubulações analisadas tiveram um aumento de suas taxas de depreciação em virtude do modelo aplicado.

#### 5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

#### 6 REFERÊNCIAS

- ALEGRE, H., ALMEIDA, M. C. ed. (2009). **Strategic asset management of water and wastewater infrastructures**. IWA Publishing, ISBN 97843391869 (536 p.)
- ALEM SOBRINHO, P.; MARTINS, G. (2004). **Abastecimento de Água**. In: TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. 643p.
- AL-RAWAJFEH, A. E. **Modelling and simulation of CO<sub>2</sub> release in multiple-effect distillers for seawater desalination**. Tese de doutorado aprovada pelo Curso de Matemática, ciências naturais e tecnologia (Engenharia), da Universidade Martin Luthr Halle-Wittenberg em Talifah. Junho, 2004.
- BRANDÃO, A.S.. **Estudo de Degradação de Poços de Visita em PE Rotomoldado Reciclado Aplicados em Redes Coletoras de Esgoto**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Ceará, Programa de pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais. Janeiro de 2014.
- BUSTAMANTE, R. **Avaliação de Complexos Industriais – Fundamentos e Prática (Bens Corpóreos)**. Rio de Janeiro: Editora Forense, 2000.

- DE PAOLI, M. A. **Degradação e Estabilização de Polímeros**. 2ª Versão, Chemkeys, 2008
- FEITOSA, F.A.C.. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. rev. e ampl. - Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812p.
- FERRAZ, R. de C. **Avaliação de sistema alternativo de proteção contra a corrosão em circuito de água de refrigeração**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007. 92p.
- FREIRE, P.K.C. **Estudo Comparativo entre Metodologias de Dimensionamento Econômico de Adutoras**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande. 2000. p 140.
- IBAPE/SP (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de São Paulo). **Engenharia de Avaliações**. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 2007. 987 p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO. **Relatório Técnico N°85 176-205, Estudos das Alterações das Telhas de Cimento-Amianto ao Longo do Uso pela Exposição às Intempéries**. Abril de 2006.
- JULIANO, E. F. G. A.; TADEU F., 2013. **Artigo de Gestão Econômica e Financeira dos Ativos de Saneamento Ambiental**. Disponível na internet, na URL: [http://www.inovarse.org/sites/default/files/T12\\_0478\\_2852.pdf](http://www.inovarse.org/sites/default/files/T12_0478_2852.pdf), capturado em 26/04/2017 às 13:43 horas.
- LASTORIA, G. **Hidrogeologia da formação serra geral no Estado de Mato Grosso do Sul**. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2002. 133p.
- LI, D.; HAIMES, Y. Optimal maintenance – related decision-making for deteriorating water distribution-systems 1. Semi-markovian model for a water main. **Water Research**, v. 28, n. 4, p. 10543-1061, abr. 1992.
- LOPES, J. T. D. **Depreciação de edificações**. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS. 1995, Santa Catarina. Anais. Florianópolis IBAPE/SC, 1995. p. 277-284. Anais...
- MCNEILL, L. S. **Water quality factors influencing iron and lead corrosion in drinking water**. Tese de doutorado em engenharia civil e ambiental. Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, VA, USA, 2000. p 1-12.
- MELO BAPTISTA, Jaime; ALEGRE, Helena. **Seleção de materiais de tubagens para sistemas de abastecimento de água**. Portugal. LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal, Comunicação ao Encontro Nacional de Saneamento Básico, Lisboa, 2000.
- MELO, J. R. C. **Sistemas de Abastecimento de Água**. Apostila do curso de graduação em engenharia civil. Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, João Pessoa, 1996.
- MORRIS JR., R.E. (1967). Principal causes and remedies of water main breaks. **Journal AWWA**, v. 59, n. 7, p. 782-798, jul. 1967.
- O'DAY, D.K.. Organizing and analyzing leak and break data for making replacement decisions. **Journal of American Water Works Association**, v. 74, n. 11, p. 589-594, nov. 1982.
- O'DAY, D.K. et al. **Water main evaluation for rehabilitation/replacement**. American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO, 1986.
- SARZEDAS, G. L. **Planejamento para a substituição de tubulações em sistemas de abastecimento de água. Aplicação na rede de distribuição de água da região metropolitana de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- SCHRAMM, A. B.; DE ARAUJO, J. K. Diretrizes de Escolha dos Materiais para Sistemas Adutores: Padronização de Coleta de Dados Técnicos das Ocorrências. XIII Simpósio Iberoamericano de Redes de Água, Esgoto e Drenagem, 2014, Fortaleza – Ceará. **Anais...**
- SIQUEIRA, M.V.; SANTOS, A.M.; AQUINO, J.T.; MOTA, J.F. Análise de carbonatação e corrosão por íons cloreto em uma passarela da zona oeste do Recife. In: Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estrutura – CONPAR, Recife, agosto de 2017. **Anais...**
- Shamir, U., Howard, C.D.D. (1979). An analytic approach to scheduling pipe replacement. **J. AWWA**, 71(5), 248-258.
- SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998.
- RAJANI, Y; KLEINER, B.B. Comprehensive review of structural deterioration of water mains: statistical models. **Urban Water Journal**, v. 3, no. 3, Oct. 2001, pp. 131-150. Institute for Research in Construction.