



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais



Matheus do Carmo Costa

**A Gestão Patrimonial de Infraestrutura em um Sistema Público de Abastecimento
de Água – Utilização de Método Probabilístico para Estimativa de Quebras**

Campo Grande, MS
02/2022

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais

Matheus do Carmo Costa

Estudo de Perdas em Sistema de Abastecimento de Água – Aplicação de Método Probabilístico para Estimativa de Quebras

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, área de *Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos*, concentração:

Orientador: Prof. Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves

Banca Examinadora

{Prof. Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves}
Presidente

Prof. Dr. Peter Batista, Cheung
Universidade Federal de Mato Grosso do
Sul

Prof. Dr. Cristovão Vicente Scapulatempo
Fernandes
Universidade Federal do Paraná

Campo Grande, MS
02/2022

“Senhor
Vós que abençoastes todos os Engenheiros
Sejam eles de combate ou de construção,
Concedei-nos hoje e sempre
As glórias de Villagran Cabrita.
A dedicação para o desenvolvimento de nossa pátria,
A persistência para a integração de nosso país,
A responsabilidade para o progresso da nação,
A coragem para enfrentar grandes desafios,
A resistência para suportar as jornadas ininterruptas.
E concedei-nos também
A fé inabalável em vossa existência,
A fim de nos guiar no caminho do bem.
E quando chegar a hora de nossa partida
Que sejamos dignos de nos unir aos nossos antepassados,
No lugar onde os valentes
Podem viver para sempre E se tornarem eternos.
NÃO VIVEMOS EM VÃO! XINGU!!!”

Oração do Engenheiro
Autor: Capitão de Engenharia José Ramalho Vaz de Britto Neto

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho a Deus, à minha família nas pessoas do meu pai Leopoldo, minha mãe Joelma e minha irmã Gabriella. Aos mestres que me guiaram academicamente até aqui. Aos bons amigos que fiz até o dia de hoje e aos amigos que ainda farei. Aos bons engenheiros desta grande nação que contribuem para o desenvolvimento nacional. Ao Brasil.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves, pessoa que trago em máxima estima.

À Dr^a. Aisha Mamade, na pessoa de quem agradeço ao Baseform por ter cedido o software utilizado para as análises estatísticas, bem como todo o suporte para o sucesso do estudo de caso deste trabalho.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pela oportunidade de crescimento profissional e acadêmico.

RESUMO

O presente trabalho aborda a avaliação de técnicas de gestão patrimonial em um sistema de abastecimento público universitário com a intuito de gerar metodologias e normas de operação em sistemas públicos fechados de abastecimento visando a redução de perdas: identificação das tubulações, análise do conceito de gestão patrimonial de infraestrutura (GPI), estudo de perdas, aplicação dos métodos probabilísticos para previsão de quebra das tubulações e observação dos impactos das perdas nos sistemas de abastecimento da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Cidade Universitária, localizado em Campo Grande, estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. Controlar as perdas em sistemas de abastecimento de água não se trata somente de ser sustentável, mas se traduz em economia efetiva de recurso financeiro para o gestor do sistema. Por isso, avaliar a aplicação de metodologias de controle de perdas em sistemas públicos fechados de grande porte se apresenta como estudo importantíssimo na área de saneamento. Para tanto, foram utilizadas técnicas de identificação de perdas de maneira global e local, tais como mínimo consumo noturno, comparação de consumo de água e esgoto e utilização de geofone para refino da localização. Foi realizado o levantamento e identificação das tubulações da região de estudo, bem como contabilizado o número de falhas por tubulação identificada. Assim, foi possível a utilização dessas informações para realizar a previsão de quebras das tubulações com o auxílio do método probabilístico denominado extensão linear do processo de Yule (LEYP), por meio do software *Baseform*. Durante o estudo foi possível observar a redução de 58,58% no consumo total do sistema de abastecimento estudado, entre março e abril de 2020. Observa-se ainda que houve redução de 29,29% do consumo anual quando comparado o ano de 2019 com 2020. Assim, é possível notar que a aplicação de metodologia de controle de perdas em sistemas de abastecimento de água promove o correto manejo dos recursos naturais, por meio da gestão hídrica adequada, além de impor ao consumidor final a redução de consumo, gerando economia pecuniária.

ABSTRACT

This paper addresses the evaluation of asset management techniques in a water supply system of an university in order to generate methodologies and operating standards in closed water supply systems aimed at reducing water losses: identification of pipes, analysis of the concept of infrastructure asset management (IAM), study of water losses, application of probabilistic methods to predict pipe breakage and observation of the impacts of losses in the water supply systems of the Federal University of Mato Grosso do Sul, Campus *Cidade Universitária*, located in Campo Grande, state of Mato Grosso do Sul, Brazil. Controlling losses in water supply systems is not just about being sustainable, but it translates into effective savings in financial resources for the system manager. Therefore, evaluating the application of loss control methodologies in large, closed public systems is an extremely important stud. For this purpose, losses identification techniques were used globally and locally, such as minimum water flow, comparison of water and sewage consumption and use of a geophone to refine the location. The survey and identification of the pipes in the study region was carried out, as well as the number of failures per identified pipe was counted. Thus, it was possible to use this information to predict pipe breakages with the aid of the probabilistic method called linear extension of the Yule process (LEYP), through the Baseform software. During the study, it was possible to observe a reduction of 58.58% in the total consumption of the studied supply system, between March and the beginning of 2020. It is also observed that there was a 29.29% reduction in annual consumption when compared to the year 2019 com 2020. Thus, it is possible to note that the application of a loss control methodology in water supply systems promotes the correct management of natural resources, through proper water management, in addition to imposing on the final consumer the reduction of consumption, increasing profit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tipos de inspeção	16
Figura 2 -Ações de reabilitação em função da natureza das anomalias	18
Figura 3 - Relação Componente x Motivação	19
Figura 4 - Processo de Contagem $N(t)$ e diferencial $dN(t)$	21
Figura 5 - Imagem de Satélite - Setor 1, Cidade Universitária, UFMS.....	23
Figura 6 - Esquema das Tubulações	24
Figura 7: Comparação do consumo geral água x esgoto em m^3	24
Figura 8: Comparativo consumo total e consumo da caixa central em 2019	26
Figura 9: Comparativo consumo total e consumo da caixa central em 2020	26
Figura 10: Comparativo consumo total de água x esgoto em 2019.....	27
Figura 11: Comparativo consumo total de água x esgoto em 2020.....	27
Figura 12: Válvula hidra travada	28
Figura 13: Torneiras abertas	28
Figura 14: Tubulação com vazamento de grande intensidade.....	28
Figura 15: Tubulação deteriorada removida.....	28
Figura 16 - Comparação entre estratégias de reparo das tubulações –UFMS	30
Figura 17 - Comparativo de Falhas	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matrículas e numeração dos hidrômetros	25
Tabela 2: Dados da aplicação do mínimo consumo noturno	28
Tabela 3 - Ocorrência de falhas por tubulação	36
Continuação da Tabela 4	37
Tabela 5 - Resultados por tubulação.....	38
Continuação da Tabela 6	39
Continuação da Tabela 7	40
Continuação da Tabela 8	41
Tabela 9 - Plano de substituição das tubulações 2021-2030	42

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

EPA Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

GALV Galvanizado

GIS Geographic Informatio System

GPI Gestão Patrimonial de Infraestrutura

LEYP Linear Extension of the Yule Process

NHPP Non-homogeneous Poisson Process

PVC Policloreto de Vinila

Sumário

DEDICATÓRIA.....	3
AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	7
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivo Geral	12
2.2. Objetivos Específicos	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1. Gestão Patrimonial de Infraestrutura (GPI).....	13
3.1.1. Infraestrutura e vida útil.....	15
3.1.2. Objetivos da GPI.....	16
3.1.3. Reabilitação	17
3.1.4. Motivações de reabilitação	18
3.2. Extensão Linear do Processo de Yule (LEYP).....	19
3.2.1. Equação da LEYP	20
3.2.2. Justificativa da utilização da Extensão Linear do Processo de Yule	20
4. METODOLOGIA.....	20
4.1.1. O conceito do processo de contagem.....	21
4.1.2. Função intensidade de um processo de contagem	21
4.1.3. Processo não homogêneo de Poisson (NHPP).....	22
5. ESTUDO DE CASO	23
5.1. Área de Estudo	23
5.2. Análise do Consumo de Água	24
5.2.1. Aplicação do Mínimo Consumo Noturno.....	27
5.3. Histórico de Falhas	29
5.4. Análise de Falhas – Baseform	29
5.5. Previsão de falhas	29
6. GUIA DE AÇÕES.....	32
7. CONCLUSÕES	33
8. REFERÊNCIAS	34
9. ANEXOS.....	36
9.1. Anexo I.....	36
9.2. Anexo II.....	38
9.3. Anexo III	42

1. INTRODUÇÃO

O acesso à água é crucial para a vida, bem como para todas as atividades humanas. Assim, deduz-se que as engrenagens que mantêm o diário funcionamento da sociedade seriam fatalmente paralisadas em caso de interrupção do fornecimento de água ou teriam, em certa medida, seus ciclos alterados pelo fornecimento deficiente.

Assim, uma vez identificados os anseios sociais pela água, a sociedade se empenhou, ao longo do tempo, no desenvolvimento de estruturas e sistemas de abastecimento de água.

Com a evolução da indústria e da tecnológica, os níveis de serviço dos sistemas de abastecimento e as demandas dos consumidores aumentaram. Historicamente, a sociedade tende a aumentar o consumo de água, seja por simples aumento populacional ou por demandas industriais, que movimentam a economia mundial.

De acordo com AL-Washali et al. (2020), fornecer água enquanto se preservam suas fontes é uma tarefa difícil, pois uma parte significativa da água fornecida não chega aos usuários pretendidos, mas é perdida durante a trajetória em forma de vazamentos ou extraviadas do sistema de distribuição.

Dessa maneira, com o aumento de demanda, um pensamento linear, ou de senso comum, levaria ao entendimento de conseqüente aumento de perdas. Assim, é de se esperar que a sociedade científica concentre esforços para o desenvolvimento de metodologias de controle de perdas e manutenção dos sistemas de abastecimento.

Segundo Lambert et al. (1999), a maior parte das perdas são evitáveis, no entanto, certa parte das perdas não podem ser evitadas, mesmo em sistemas de distribuição muito bem geridos.

Portanto, o estudo de Gestão Patrimonial de Infraestruturas (GPI) se mostra importante no desenvolvimento de meios de controle de sistemas de distribuição de água, bem como o desenvolvimento de modelos e índices matemático-probabilísticos que auxiliam nas tomadas de decisão por parte dos gestores.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O presente estudo possui como objetivo a aplicação de ações que objetivem as melhorias quanto a gestão patrimonial de infraestrutura em um sistema público de abastecimento de água.

2.2. Objetivos Específicos

- Analisar o conceito de Gestão Patrimonial de Infraestrutura (GPI) e suas aplicações nos sistemas de abastecimento;
- Aplicar método probabilístico para previsão de quebra das tubulações de um sistema de abastecimento de água;
- Avaliar o impacto de diferentes estratégias de reabilitação comparando-as;
- Avaliar os índices de quebra quando o sistema é submetido a um plano de substituição de tubulações.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta revisão bibliográfica dos tópicos *Gestão Patrimonial de Infraestrutura (GPI)* e *Extensão Linear do Processo de Yule (LEYP)*.

Cumpra-se comentar, no entanto, uma definição mais abrangente da GPI, muito difundida no meio acadêmico e comercial que, por vezes, acaba por se confundir com a Gestão Patrimonial de Infraestrutura. Trata-se da Gestão de Ativos.

De acordo com a ABNT NBR ISO 55000:2014. Gestão de ativos — Visão geral, princípios e terminologia (ABNT, 2014), gestão de ativos é a atividade corporativa organizada que busca a geração de valores pelos ativos. A referida norma apresenta quatro princípios:

- Ativos existem para fornecer valor para a organização e partes interessadas.
- Gestão de Ativos transforma a intenção estratégica em tarefas, decisões, atividades técnicas e financeiras.
- Liderança e cultura do local de trabalho são determinantes da percepção de valor.
- Gestão de Ativos fornece garantia de que os ativos vão cumprir e desempenhar a sua função.

Segundo Zampoli (2012), a gestão de ativos é uma novidade no setor público e privado, originalmente proveniente de técnicas de gerenciamento utilizadas no mercado financeiro e aplicadas em ambientes competitivos e de alto risco como aviação civil, indústrias de equipamentos hospitalares com alta tecnologia e usinas nucleares.

Zampoli (2012) ainda afirma que o princípio fundamental da gestão de ativos é assegurar que a condição dos ativos é monitorada efetivamente, e estes são mantidos para prover níveis apropriados de serviços para satisfazer necessidades e expectativas dos clientes. O sucesso do planejamento de gestão de ativos parte da necessidade de se assegurar o nível de serviço adequado e eficiente por meio da manutenção ou troca de determinado recurso.

De acordo com Zampoli (2012), por meio de tais princípios, pode-se obter uma definição puramente gerencial do que deve ser a gestão patrimonial de infraestrutura, servindo até mesmo para definir a gestão de ativos não materiais, mas que incorporam valor agregado para uma organização ou parte interessada.

3.1. Gestão Patrimonial de Infraestrutura (GPI)

Com a necessidade do desenvolvimento de estruturas e sistemas de abastecimento e, considerando os efeitos temporais nos componentes desses sistemas e estruturas, surge a demanda de reparos, trocas e manutenções.

De maneira mais complexa, as intervenções necessárias para a continuidade do fornecimento de água para o consumidor final, com o passar do tempo, passa a ser tratada de maneira global, ou seja, considerando o máximo de fatores e efeitos necessários para a execução de intervenções tão eficiente quanto possível.

Nas palavras de Alegre; Covas (2010), as infraestruturas de abastecimento de água são um suporte essencial para a prestação de um serviço público de primeira necessidade à saúde e bem-estar das populações e à economia das sociedades, portando estas infraestruturas sustentam serviços assumidos como evidentes nas sociedades industrializadas, tendo por isso muitas vezes pouca visibilidade social e sendo subvalorizadas pelos gestores.

De acordo com Ferreira; Carriço (2019), a gestão patrimonial de infraestrutura é

uma abordagem integrada e multidisciplinar que usa atividades e práticas coordenadas e sistemáticas, de modo a permitir que os gestores dos sistemas de distribuição de água gerenciem de forma otimizada seus ativos. Para isso, leva-se em consideração o desempenho do sistema, riscos e custos ao longo da vida útil do sistema.

Baird (2013), afirma que o conceito principal da Gestão Patrimonial de Infraestrutura é gerenciar os ativos de maneira efetiva quanto ao custo, de maneira a se executar as intervenções em pontos estratégicos do ciclo de vida dos ativos.

Assim, pelo costume da sociedade em encontrar o fornecimento de água encanada de maneira relativamente simples, há a percepção que tal serviço é de simples implementação e subvalorizada pelos líderes da sociedade, bem como pela própria população.

Alegre; Covas (2010) ainda citam que tal desvalorização deve-se ao fato de serem infraestruturas predominantemente enterradas, de difícil acesso para efeitos de inspeção e de manutenção. Acresce que se trata de serviços que funcionam em regime de monopólio natural, o que não incentiva à melhoria de eficiência.

Embora a desvalorização do serviço, talvez pelo fato de não ser algo visual, os insumos inerentes aos sistemas de distribuição são numerosos e de alto valor agregado. Assim, os estudos de viabilidade e tomada de decisão são imprescindíveis para o uso eficiente do recurso financeiro.

Segundo o manual de gestão de ativos para pequenos sistemas de água (EPA, 2003), gerir ativos de um sistema de abastecimento é um processo de planejamento que garante que o gestor do sistema obtenha o máximo de eficiência dos componentes, de modo que sejam garantidos os recursos financeiros para reabilitação e trocas dos componentes quando necessário.

Ainda de acordo com o manual, essa gestão inclui o desenvolvimento de um plano que reduza custos enquanto se aumentam a eficiência e a confiabilidade dos ativos. O sucesso da gestão de ativos, na perspectiva dos sistemas de abastecimento de água, depende do conhecimento que se tem sobre os ativos do sistema e comunicação regular com os gestores e consumidores sobre as necessidades futuras de intervenção do sistema.

Nesse aspecto, Alegre; Covas (2010) evidencia como indispensável fundamentar bem as decisões de “quanto”, “onde”, “quando” e “como” reabilitar as redes, com base em critérios técnicos, operacionais e socioeconômicos, dado o grande volume de investimento em jogo.

Lin; Yuan (2019) evidenciam a necessidade do desenvolvimento de metodologias de previsão, quando afirmam que os modelos de determinação são uma dificuldade intrínseca da gestão patrimonial de infraestruturas.

Segundo Bukhsh; Stipanovic (2020), um dos principais desafios no cenário de gerenciamento de ativos está na gestão dos dados sobre o objeto em estudo. Os dados coletados não são apenas massivos e dispersos por vários sistemas computacionais, mas também é um desafio adquirir, gerenciar e processá-los por software e ferramentas tradicionais dentro de um tempo tolerável.

Alegre; Covas (2010) cita ainda a importância de demonstrar para a sociedade publicamente, de maneira quantitativa e qualitativa, os resultados da avaliação sistemática do desempenho, bem como a promoção de prêmios para as melhores entidades gestoras. Tal feito desenvolveria consciência social quanto à importância da Gestão Patrimonial de Infraestruturas, além de promover a eficiência dos serviços executados pelas entidades gestoras.

O sucesso da Gestão Patrimonial de Infraestrutura está intimamente ligado a um entendimento integrado de gestão. Segundo Alegre; Covas (2010), um programa de gestão patrimonial de infraestruturas não pode ser setorial, mas deve envolver toda a

organização que gere os ativos a serem mantidos, de modo que as componentes de gestão da uma entidade gestora de um sistema de abastecimento de água são divididas em:

- Gestão de atividades e processos
- Gestão de recursos
- Gestão Patrimonial de infraestruturas
- Gestão de informação
- Gestão ambiental
- Gestão do risco

Para melhor entendimento sobre Gestão Patrimonial de Infraestrutura, é conveniente a correta definição de certos termos, bem como sua importância. Os subitens a seguir são dedicados a isso.

3.1.1. Infraestrutura e vida útil

Segundo Alegre; Covas (2010), infraestrutura de adução e distribuição de água é o sistema constituído pelo conjunto de componentes que assegura a prestação de um serviço público essencial, cuja continuidade é necessário garantir, devendo manter-se funcional enquanto se justificar o serviço a que se destina, sendo mantida permanentemente em condições de operacionalidade adequadas à satisfação dos níveis de serviço pretendidos.

Dessa maneira, torna-se impraticável a substituição de todos os componentes da infraestrutura em sua totalidade de maneira simultânea. Se por um lado os serviços de distribuição devem ser mantidos constantemente, impedindo a troca total dos componentes, o custo de tal feito de uma única vez atingiria custo elevadíssimo.

Nessa esteira, o conceito de vida útil surge no contexto dos sistemas de abastecimento, de modo a caracterizar não somente o conjunto completo dos sistemas de distribuição, como também cada elemento componente da infraestrutura. Burns et al. (1999) afirma que podem atribuir-se vidas úteis limitadas aos componentes individuais, mas não à infraestrutura em seu todo.

Segundo Alegre; Covas (2010), os componentes dos sistemas de abastecimento possuem vidas úteis difíceis de avaliar. Ocorre que existem numerosos conceitos a serem avaliados, de modo que é pertinente fazer a diferenciação conforme o que segue:

- Vida total: é o período que se inicia desde a instalação e entrada em funcionamento até à desativação final; quando os sistemas de informação cadastral contêm datas, são em geral as datas de instalação e de desativação que são registadas
- Vida útil técnica: corresponde ao período após a instalação durante o qual o componente cumpre a função a que se destina.
- Vida útil contabilística: é definida pelo período de amortização fiscal, em geral fixo para cada classe de componente.
- Vida útil econômica: é definida pelo período entre a aquisição e o tempo em que o componente, apesar de fisicamente ainda capacitado para fornecer o serviço, já não constitui a opção de menor custo para satisfazer os requisitos de desempenho pretendidos. A vida econômica é, no máximo, igual à duração física. A obsolescência leva que a vida econômica seja frequentemente inferior à duração física. Nas situações em que os custos de manutenção crescem significativamente

com o envelhecimento, o fim da vida econômica pode também ocorrer numa fase em que o ativo ainda cumpre a função a que se destina.

3.1.2. Objetivos da GPI

O manual de gestão de ativos para pequenos sistemas de água (EPA, 2003) apresenta cinco passos a serem seguidos para a melhor análise técnica no que cabe a manutenção de pequenos sistemas de abastecimento, são eles:

- Desenvolver um inventário completo do sistema de distribuição
- Priorizar a reabilitação e troca de componentes
- Desenvolver estimativa anual de reservas necessárias e despesas
- Implementar um plano de gestão de ativos
- Revisar o plano de gestão de ativos constantemente

Zampoli (2012) afirma que os históricos de desempenho devem ser baseados em inspeções, manutenções e ocorrências ou perturbações e são importantes para as decisões de equipe de gestão, de modo que são apresentadas a seguir os parâmetros a serem analisados em casa etapa:

- Inspeções periódicas: devem ser feitas em uma base rotineira, podendo ser visuais, apuradas ou detalhadas. A figura a seguir define cada uma das inspeções.

Tipo	Exemplos de Conteúdo
Inspeção Simples (visual ou à distância)	<ul style="list-style-type: none"> • Condições do ambiente • Deteriorização por envelhecimento • Distância entre partes vivas • Evidências de falha iminente • Termografia • Ultrassonografia
Inspeção específica (apurada) ou por amostragem	<ul style="list-style-type: none"> • Medições do nível de isolamento • Análise físico-química de óleo isolante • Identificação de trilhamento • Sistema de proteção e refrigeração • Cromatografia dos gases dissolvidos no óleo isolante
Inspeções detalhadas	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaios elétricos específicos • Ensaios mecânicos • Ensaio de estanqueidade • Susceptibilidade à corrosão • Nível de ruído • Medições de descargas parciais

Figura 1 - Tipos de inspeção
Fonte: Zampoli (2012)

- **Manutenções:** é o conjunto de ações essenciais para manter e conservar um ativo ou restaurá-lo para uma condição satisfatória de operação, podendo ser classificadas em corretiva, preventiva, preditiva ou detectiva.
- **Descarte e/ou substituição:** podendo ser dividida em troca do ativo, por meio de substituição planejada, visando minimizar os riscos de degradação e de baixo desempenho no final da vida útil, ou “aposentadoria do equipamento, por meio da remoção do equipamento do serviço devido a expansão do sistema, mas retendo o recurso por razões estratégicas, como servir de peças sobressalentes para

situações emergenciais.

3.1.3. Reabilitação

De acordo com Alegre; Covas (2010), a ideia de reabilitação é relativamente nova no setor de sistemas de abastecimento. Tal fato se deve dado que a expansão dos sistemas de distribuição no mundo, de maneira geral, se deu predominantemente no período pós segunda guerra mundial.

Ferreira; Carriço (2019) menciona que reabilitar os ativos dos sistemas de distribuição é a principal ação a ser tomada para que se obtenha aumento da eficiência dos sistemas reabilitados.

Segundo Almeida; Covas (2015), reabilitar os componentes de um sistema é essencial para o funcionamento do sistema como um todo, bem como para a performance dos componentes individuais.

Segundo Azeitona et al. (2018), como os sistemas de abastecimento enterrado representam, em média, mais de 60% do valor total de ativos dos sistemas de distribuição de água (Folkman, 2012), projetos que priorizem a previsão de falhas e a reabilitação devem ser os protagonistas nos planejamentos de gestão de ativos.

Assim, os materiais componentes dos sistemas de distribuição começam a apresentar falhas significativas, demandando por manutenções expressivas entre o final da década de 90 e início dos anos 2000.

A partir da necessidade de manutenção, o conceito de reabilitação começa a ser analisado e difundido por pesquisadores. Nesse aspecto, a *EN 752:2017 - Drain and sewer systems outside buildings* define reabilitação como o conjunto de medidas para repor ou melhorar o desempenho de um sistema de águas residuais ou pluviais existente.

Segundo Alegre; Covas (2010), a reabilitação de sistemas de abastecimento de água deve tratar de corrigir anomalias de quatro tipos de natureza, quais sejam:

- Estrutural: decorre de deficiente condição física dos componentes. Pode envolver ação de renovação ou substituição
- Hidráulica: decorre da inadequação de capacidade hidráulica do sistema face às solicitações. De forma geral, envolve ação de substituição de componentes
- Qualidade da água: decorre da degradação excessiva da qualidade da água no sistema de distribuição. De modo geral, causada pela deficiente condição física dos componentes. Envolve ação de renovação ou substituição.
- Operação e Manutenção: decorre da necessidade de aumentar a eficiência das atividades ou da confiabilidade do serviço.

A figura a seguir associa a natureza das anomalias com a ação a ser executada.

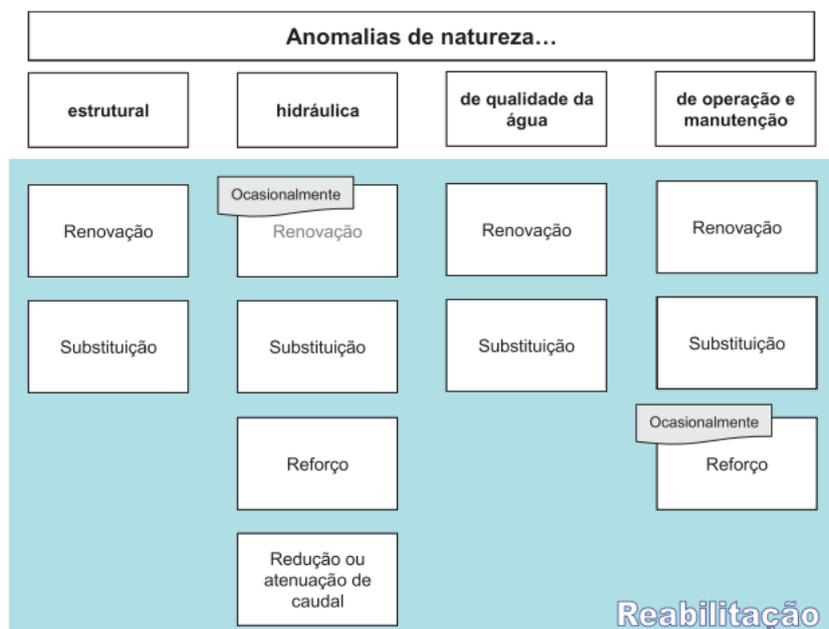


Figura 2 -Ações de reabilitação em função da natureza das anomalias
 Fonte: Alegre; Covas (2010)

Segundo Covas et al. (2015), as técnicas de reabilitação em sistemas de abastecimento de água podem ser divididos em duas categorias principais:

- **Renovação:** é o trabalho que acrescenta no todo ou em parte a malha de tubulações de modo que sua performance é melhorada.

Substituição: é a reabilitação de um sistema existente por meio da instalação de novas tubulações, sem acréscimo de novas malhas.

Covas et al. (2015) ainda cita a existência de outras classificações, como:

- **Reparo:** é o serviço de reabilitação local para resolver uma falha pontual.
- **Manutenção:** é o serviço que objetiva a continuidade operacional do sistema de distribuição, sem instalações adicionais.

Além dessas categorias, Alegre; Covas (2010) apresenta o reforço como categoria adicional, sendo a intervenção de reabilitação hidráulica sobre um componente do sistema existente, com a construção de um componente adicional, que complementa a capacidade do componente existente ou constitui uma alternativa a ele.

3.1.4. Motivações de reabilitação

Obviamente, a reabilitação de qualquer ativo é feita por iniciativa de algum fator. Alegre; Covas (2010) apresenta alguns dos principais fatores que motivam o gestor a atuar de maneira a reabilitar o sistema de distribuição em todo ou em parte.

Alegre; Covas (2010) afirma que os componentes dos sistemas de adução e distribuição de água estão susceptíveis a diferentes tipos de fatores agressivos que contribuem redução do desempenho do sistema. Quando se fala em diminuição do desempenho do sistema de distribuição, faz-se referência tanto a condição física como da degradação do desempenho funcional, podendo ter associação com:

- Envelhecimento natural dos componentes
- Alteração dos objetivos de serviço

- Deficiências de concepção e projeto
- Deficiências de construção
- Deficiências de materiais e equipamentos
- Deficiências de operação
- Deficiências de manutenção
- Causas externas

Importa ressaltar da determinação de pontos de deterioração nos sistemas de abastecimento de água. Segundo Lin; Yuan (2019), a tendência de deterioração de um ativo é de difícil previsão devido à sua grande variabilidade e falta de compreensão sólida dos mecanismos de degradação subjacentes, que muitas vezes se relacionam com aspectos físicos, químicos, biológicos e outros processos. A figura a seguir associa o tipo de componente e as principais motivações de necessidade de reabilitação.

Motivações da necessidade de reabilitação	Envelhecimento natural dos componentes	Alteração dos objectivos de serviço	Deficiências de concepção e projecto	Deficiências de construção	Deficiências de materiais e de equipamentos	Deficiências de operação	Deficiências de manutenção	Causas externas
Tipo de componente								
Construção civil								
Edifícios e reservatórios	+++	++	+	++	+	+	++	+
Condutas	+++	+	++	++	+	+	+	++
Equipamento								
Grupos electrobombas	+++	++	+	+	+	+	++	+
Válvulas	+++	+	+	+	+	+	+++	+
Equipamento eléctrico	+++	+	+	+	+	+	++	+
Equipamento de controlo	+++	+	++	+	+	+	++	+

Legenda: + causa pouco frequente; ++ causa frequente; +++ causa muito frequente.

Figura 3 - Relação Componente x Motivação
Fonte: Alegre; Covas (2010)

3.2. Extensão Linear do Processo de Yule (LEYP)

Uma vez que se entende a necessidade da gestão patrimonial de infraestruturas nos sistemas de abastecimento de água, demanda-se a necessidade de melhor entendimento do comportamento das estruturas de modo amplo e estrito.

Segundo Scheidegger et al. (2013), os modelos de falha em tubulações são uma das principais ferramentas de auxílio no processo de gestão dos sistemas de distribuição. Enquanto modelos de probabilidade de tubulações individuais são necessários para manutenções de médio prazo, para planejamentos de manutenção de longo prazo, é interessante se obter o número esperável de falhas do sistema inteiro.

Segundo Le Gat (2016), é abundante a literatura de exemplos de falhas recorrentes. As motivações dessas falhas permeiam a confiabilidade dos componentes e sistemas e, em muitos casos, a taxa de ocorrência tende a aumentar não somente com o

envelhecimento dos objetos, mas também com o número de falhas já ocorridas.

A extensão linear do processo de Yule aparece nesse contexto como ferramenta probabilística para a estimativa do quantitativo de falhas em determinado setor da infraestrutura, auxiliando o gestor do sistema nas tomadas de decisão de “quando” e “onde” ele deve atuar de maneira preventiva.

No entanto, é oportuno primeiramente introduzirmos alguns conceitos inerentes à extensão linear do processo de Yule e os modelos matemático que antecederam tal metodologia. Os conceitos apresentados a seguir são expostos por Le Gat (2016), salvo nos casos de citações específicas.

3.2.1. Equação da LEYP

Assim a função denominada extensão linear do processo de Yule é um caso particular do processo não homogêneo de Poisson (NHPP), tal que:

$$E(dN(t)|\mathcal{N}_{t-} = j) = (1 + \alpha j)\lambda(t)dt \quad (3)$$

Onde $(1 + \alpha j)$ é denominado Fator de Yule, representando linearmente o efeito das falhas anteriores à data de observação por meio do parâmetro escalar α . O Fator de Yule reflete a tendência das falhas se acumularem nas mesmas tubulações.

3.2.2. Justificativa da utilização da Extensão Linear do Processo de Yule

De acordo com Le Gat (2016), por definição o modelo de Eisenbeis envolve uma limitação importante: a estimativa de parâmetros por meio das informações observadas somente é possível se os parâmetros do objeto em análise são catalogados desde sua instalação. Assim, uma alternativa passa a ser a consideração de que o $t = 0$ seja definido como o começo da janela de observações.

Enquanto o NHPP se mostra vantajoso na detecção das tubulações que são mais susceptíveis à falha, o modelo de Eisenbeis aparece como uma ferramenta interessante na priorização dos itens a serem renovados ou substituídos, ainda que a precisão do número futuro de falhas apresente uma tendência de ser superestimada.

De acordo com Akagi (2017), dentro da categoria de modelos probabilísticos para a previsão de falhas o modelo LEYP é um dos modelos mais importantes e avançados. Uma das principais características do modelo que se destaca é a capacidade de não considerar as falhas passadas de longo prazo. Assim, é possível a utilização do modelo para sistemas que possuam lacunas nos dados de falhas ao longo do tempo, permitindo a modelagem sem grandes ajustes nos dados existentes.

Assim, a utilização do processo de Yule é totalmente justificada pela procura de um modelo que combinaria as vantagens dos modelos de Eisenbeis e NHPP.

4. METODOLOGIA

Para a execução do processamento de dados do estudo de caso, será utilizada a ferramenta Baseform. A análise da probabilidade de falhas nas tubulações da ferramenta utiliza a plataforma georreferenciada GIS e os dados de histórico de falhas de cada tubulação componente do sistema.

A ferramenta é capaz de prever a probabilidade individual de falhas de qualquer componente dos sistemas em qualquer ponto no tempo. A ferramenta ainda propõe ações

de reparo individuais, priorizando componentes com maior probabilidade de falha em determinado ano.

Para tanto, as características de cada tubulação são implementadas no modelo georreferenciado. As características de cada tubulação a serem consideradas no modelo são: comprimento, material, quantidade de falhas, ano de instalação e diâmetro.

O Baseform se utiliza da extensão linear do processo de Yule. A extensão linear é baseada em alguns conceitos que serão explicados a seguir.

4.1.1. O conceito do processo de contagem

Objetiva-se nesse tópico esclarecer conceitos fundamentais para o entendimento do processo de contagem. No contexto de Gestão Patrimonial de Infraestrutura, é fundamental o levantamento de inventário, bem como a manutenção de um banco de dados contendo informações sobre os principais eventos do sistema de maneira global, como também de seus componentes.

Dessa maneira, podemos definir esses acontecimentos como observáveis continuamente no tempo, de modo que eventos de interesse, especificamente as falhas dos componentes do sistema, podem ocorrer em data randômica T_j , com $j \in \mathbb{N}$, representando o ranque do evento no tempo.

O tempo t é medido a partir do momento do início observacional, que para o contexto de sistemas de abastecimento seria a partir do momento que determinado componente ou sistema inicia seu funcionamento. Por convenção, as observações começam no $t=0$.

A figura a seguir ilustra o processo de contagem $N(t)$ como contínuo a direita e limitado a esquerda, iniciando em $N(0) = 0$ e crescendo de maneira unitária a cada T_j .

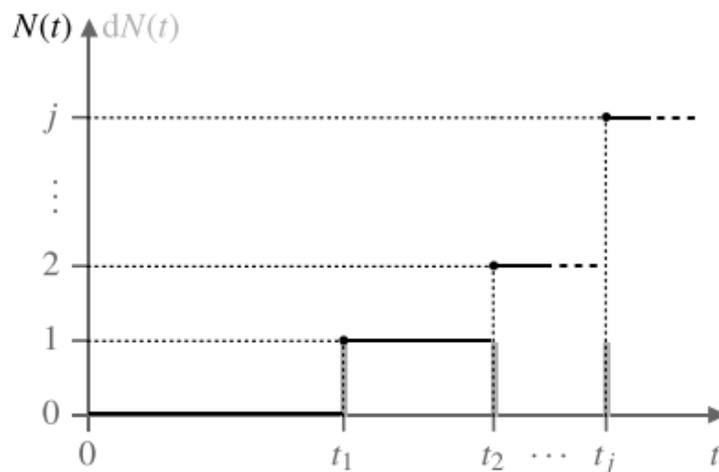


Figura 4 - Processo de Contagem $N(t)$ e diferencial $dN(t)$

4.1.2. Função intensidade de um processo de contagem

Define-se $\mathcal{N}_{[a,t]}$ como $\sigma(N(s) - N(a))_{s \in [a,t]}$. $\mathcal{N}_{[a,t]}$ pode ser definido como o conhecimento disponível sobre o processo desde o começo da observação dos eventos de falha.

A função intensidade de $N(t)$ (Equação 1), que será denotada como $\eta(t)$, pode ser definida como a densidade probabilística de um salto unitário no tempo t , condicionada ao passado.

$$(P(dN(t) = 1 | \mathcal{N}_{[a,t]}) = (E(dN(t) = 1 | \mathcal{N}_{[a,t]})) \quad (1)$$

4.1.3. Processo não homogêneo de Poisson (NHPP)

O processo não homogêneo de Poisson torna possível a modelagem do envelhecimento. O modelo NHPP pode ser definido como:

$\forall t \in \mathbb{R}_+$

$$\left\{ \begin{array}{l} N(0) = 0 \\ E(dN(t) | \mathcal{N}_{t-}) = E(dN(t)) = \lambda(t)dt \end{array} \right\} \quad (2)$$

Propriedades importantes:

- A intensidade depende da idade t
- $N_{(t)}$ é a distribuição Poisson com parâmetro $\Lambda(t) = \int_0^t \lambda(u)du$
- $N_{(t)}$ possui comportamento markoviano, ou seja, sua distribuição não depende da trajetória entre 0 e t .

Apresenta-se a função de intensidade $\lambda(t) = \delta t^{\delta-1} e^{\mathbf{Z}^T \boldsymbol{\beta}}$ para uso prático. Essa função é produto de dois fatores:

- O fator de envelhecimento $\delta t^{\delta-1}$, denominado **Fator Weibull**.
- O fator de escala $e^{\mathbf{Z}^T \boldsymbol{\beta}}$, denominado **Fator Cox**.

\mathbf{Z} é um vetor das variáveis explicativas, também denominadas covariáveis, que pode ser tanto categórico, quanto quantitativo. O vetor \mathbf{Z} caracteriza o objeto e seu ambiente. $\boldsymbol{\beta}$ é o vetor dos coeficientes de regressão que consideram os efeitos das covariáveis na função de intensidade. Os primeiros componentes de \mathbf{Z} e $\boldsymbol{\beta}$ são, respectivamente, 1 e $\boldsymbol{\beta}_0$, definindo a linha base de intensidade, quando todas as outras covariáveis possuem valor 0.

5. ESTUDO DE CASO

O estudo se dedica à aplicação da extensão linear do processo de Yule (LEYP) no sistema de distribuição de água, compreendendo a identificação das tubulações e histórico de falhas da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Cidade Universitária, localizado em Campo Grande, estado de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Para auxiliar nessa tarefa, foi utilizada a ferramenta *Predict* do software *Baseform*. O estudo pretende determinar parâmetros que permitam a previsão de falhas no sistema de distribuição de água da área de interesse.

Como objetivos específicos, temos:

- Identificar as matrículas de consumo de água;
- Acompanhar o consumo de água e esgoto da área de estudo, comparando-os para análises anteriores e posteriores às intervenções de contenção de perdas;
- Identificar as tubulações da área de interesse;
- Organizar o histórico de falhas por tubulação;
- Utilizar a ferramenta computacional (*Baseform*) para previsão de falhas;
- Apresentar os resultados obtidos.

5.1. Área de Estudo

A área de estudo se concentra no setor 1 da Cidade Universitária da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizada em Campo Grande, estado de Mato Grosso do Sul, Brasil. A região perfaz a área de 251.181 m² e pode ser observada na Figura 5. A população circulante na região de estudo varia de 10 a 15 mil pessoas.



Figura 5 - Imagem de Satélite - Setor 1, Cidade Universitária, UFMS

Para melhor identificação das tubulações, foi desenvolvido o esquema das tubulações apresentado na Figura 6, onde podem ser observadas a geometria do sistema de distribuição de água em análise. A Figura 6 apresenta os anos de instalação das tubulações. Os diâmetros de cada tubulação foram implementados no modelo

georreferenciado, mencionado no item 4.6, e são apresentados na Tabela 4.

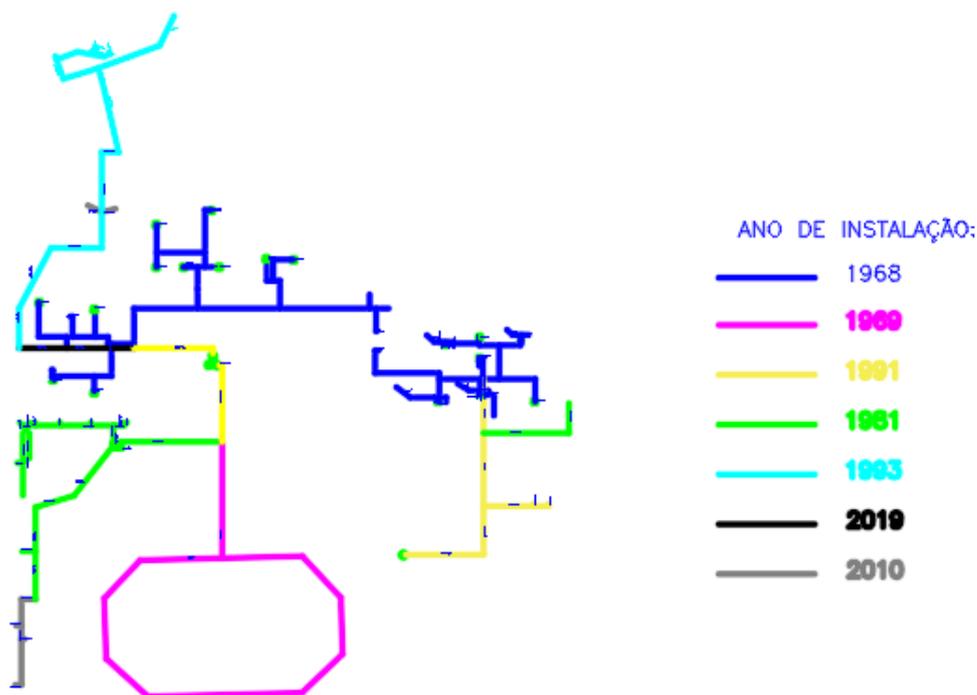


Figura 6 - Esquema das Tubulações

5.2. Análise do Consumo de Água

Ao se fazer a análise do consumo da água até o ano de 2018, observou-se que, a cada ano, o consumo aumentou em aproximadamente 30% em relação ao ano anterior. Inicialmente, desconfiou-se da existência de perdas com base na comparação dos consumos de água e esgoto.

Uma vez que o consumo de esgoto na região de estudo é monitorado, a análise pode ser feita comparando estes dados, de modo que se espera que o consumo de esgoto acompanhe o consumo de água, dado que parte da água consumida retorna para a rede em forma de esgoto. A existência de picos de consumo de água pode sinalizar vazamentos. O gráfico da Figura 7 relaciona os dados de consumo de água (em azul) e os de esgoto (laranja), apresentados em metros cúbicos.

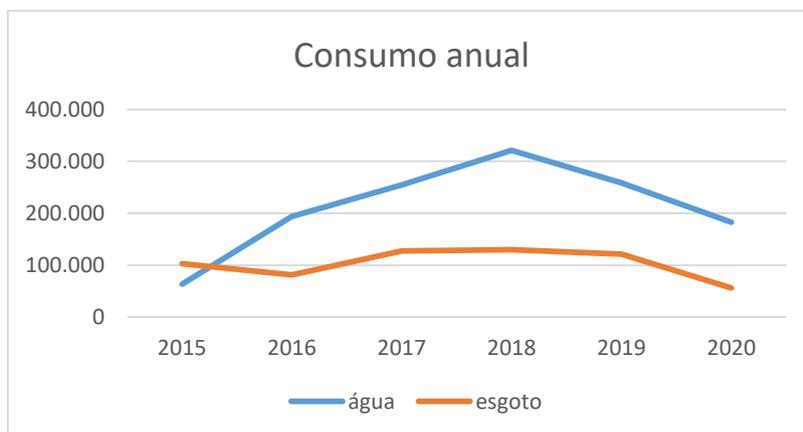


Figura 7: Comparação do consumo geral água x esgoto em m³

Diante disso, iniciaram-se as buscas por vazamento na rede de distribuição interna. Contudo, algumas problemáticas tiveram que ser contornadas. A rede hidráulica da Cidade Universitária é antiga, e as informações sobre sua distribuição na instituição são falhas. Ao longo dos anos, muitas alterações na configuração do sistema foram feitas, sem os devidos registros.

Assim, buscou-se restringir as unidades de abastecimento, com base nos dados de consumo retirados das faturas mensais. As entradas do abastecimento de água são nomeadas como matrículas, que são representadas por números indicados na fatura mensal de água. Cada matrícula alimenta um grupo de edificações, de modo que é apresentado, na Tabela 1, o número do medidor de cada matrícula e uma identificação leiga.

Tabela 1: Matrículas e numeração dos hidrômetros

Matrícula	Identificação	nº do medidor
17914206	Próximo a FAMED	F15B000159
17914208	Unidade 6 /Autocine	F15B000161
17914209	Caixa central	J15S000064
17914210	Unid. XI Química	F15B000165
17914211	FAMEZ	J15S000066
17915743	UPA/CCBS	E12B900187
17915747	Química	E12B900142
17915750	Música	E12B900179
17924504	Centro de Formação de Professores	E12B900020
17924509	Pró-Reitorias	E12B900094
17931146	Curso de Música	F16B000372
17931159	Curso de Nutrição	F16B000127
17931160	CIPeBIO	D16B700061
17953122	FAMED (novo prédio, ao lado das Pró-reitorias)	C09S004059
17957481	Mercado Escola	D18B706408

Com os dados por matrícula é possível estabelecer os locais com maiores consumos, possibilitando a visualização das variações com maior precisão. É importante citar que, algumas matrículas foram ativadas no decorrer do período analisado, devido à inauguração de novos blocos ou divisão de unidades consumidoras, assim, pode-se ter consumo zerado em alguns locais.

As Figuras 8 e 9 demonstram os consumos totais de todas as matrículas em comparação aos consumos da maior matrícula consumidora, a caixa central, para os anos de 2019 e 2020 respectivamente. Assim, notamos que o consumo que governa o comportamento geral de consumo da Cidade Universitária é o consumo da caixa central.

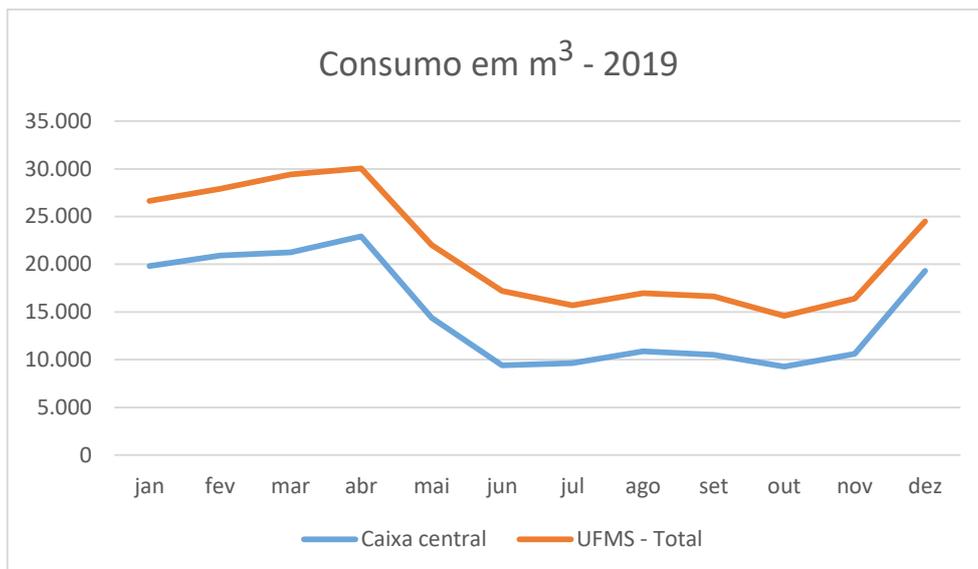


Figura 8: Comparativo consumo total e consumo da caixa central em 2019

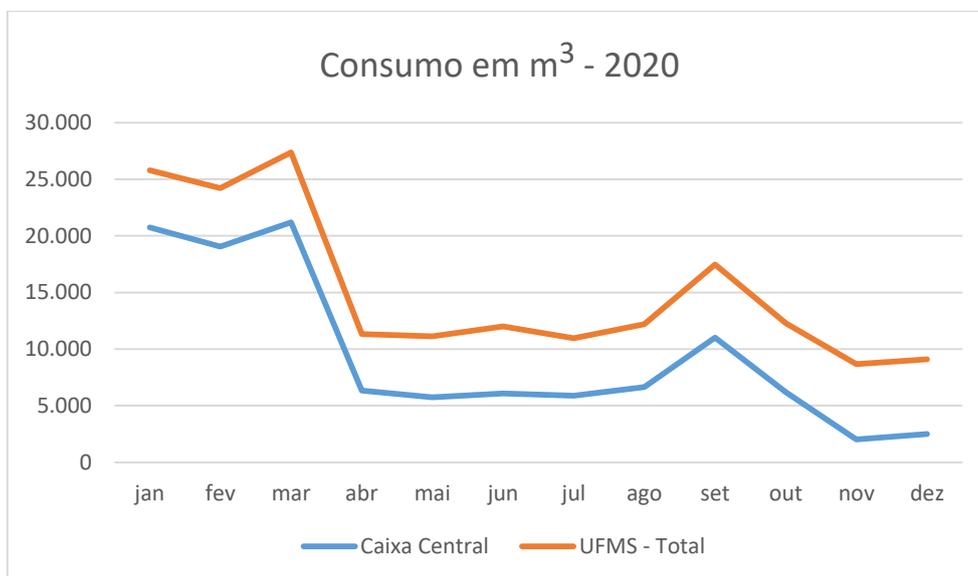


Figura 9: Comparativo consumo total e consumo da caixa central em 2020

As Figuras 10 e 11 demonstram os consumos totais de todas as matrículas em comparação aos consumos de esgoto para os anos de 2019 e 2020 respectivamente.

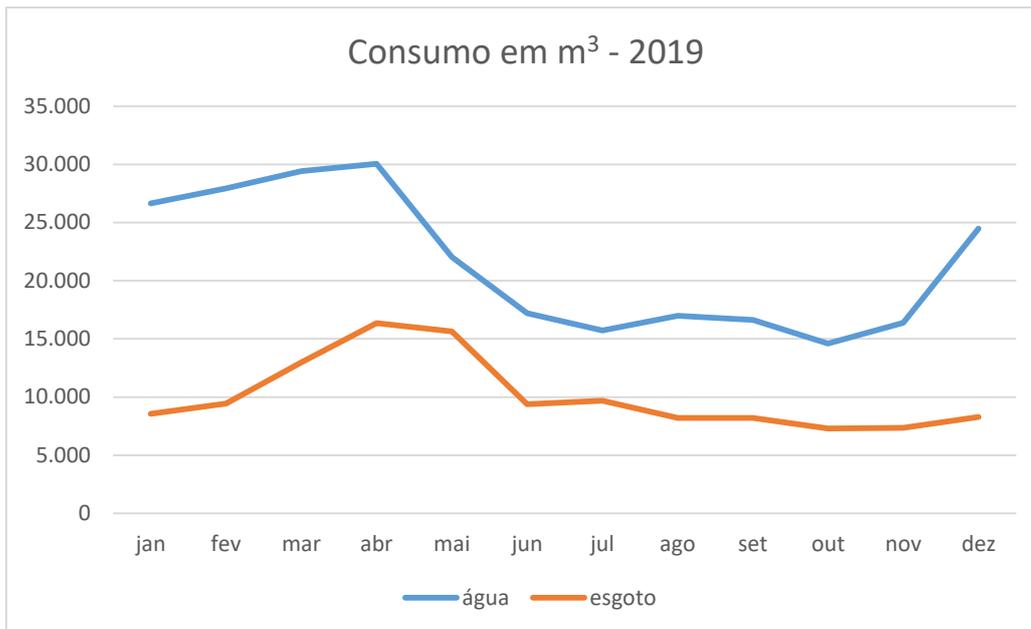


Figura 10: Comparativo consumo total de água x esgoto em 2019

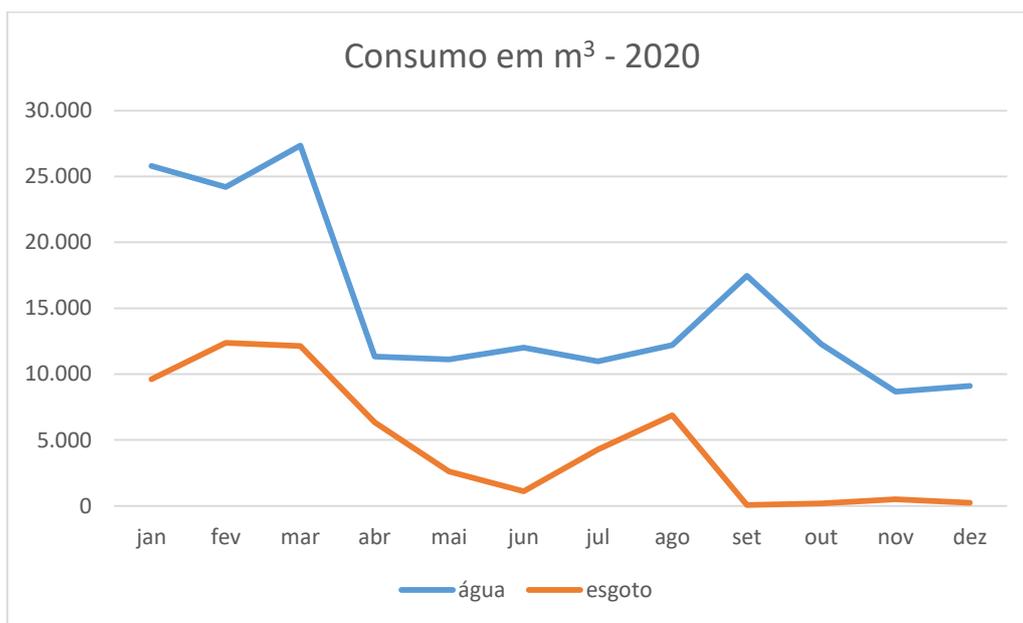


Figura 11: Comparativo consumo total de água x esgoto em 2020

Dessa maneira, as investigações de perdas se concentraram inicialmente na rede de distribuição da caixa central.

5.2.1. Aplicação do Mínimo Consumo Noturno

Assim, inicialmente, foi escolhido o método de mínimo consumo para localização das perdas na caixa central, matrícula 17914209. A caixa central possui 3 derivações iniciais: Morenã, Corredor central e FAENG.

Tabela 2: Dados da aplicação do mínimo consumo noturno

Data de fechamento	Intervalo de fechamento	Derivação aberta	Leitura Inicial (m ³)	Leitura Final (m ³)	Perda (m ³)
01/04/2020	8 horas	Corredor Central	754885,2	754943,0	57,8
02/04/2020	8 horas	Moreirão	755048,0	755247,0	199,0

Como pode ser observado na Tabela 2, após as 3 observações, foi possível concluir que havia perdas de cerca de 200 m³ em 8 horas de observação na região do Moreirão e cerca de 60 m³ na região do corredor central. Uma vez determinada a macro área, a busca por perdas pontuais foi realizada por meio da utilização de geofone na região do Moreirão, por concentrar as perdas mais significativas.

Os serviços foram executados em todo o complexo, contemplando, banheiros, salas e corredores, iniciado em 06 de maio de 2020 e finalizado em 17 de maio de 2020. Durante esse processo foram encontrados vazamentos em vasos sanitários com válvulas travadas, torneiras abertas em banheiros trancados e sem utilização, vazamento em tubulação enterrada, entre outros que são mostrados nas figuras 12, 13, 14 e 15.



Figura 12: Válvula hidra travada



Figura 13: Torneiras abertas



Figura 14: Tubulação com vazamento de grande intensidade



Figura 15: Tubulação deteriorada removida

Após as manutenções das áreas afetadas foi feita medição de vazão por meio do medidor número J15S000064, com o fechamento dos registros que levam água para o corredor centras. A medição ocorreu entre os dias 15 de maio de 2020, às 19:20 h e 16 de maio de 2020, às 06:20 h. De acordo com o registro, durante a noite, período sem uso de água, houve consumo de apenas 2m³ de água. Isso significa que depois de estancados as

principais perdas, há perda de apenas 2m³ em 11 horas, totalizando 4,36 m³/dia.

5.3. Histórico de Falhas

Para o sistema em análise, os gestores possuíam histórico de solicitação de serviços de reparo desde o ano de 2018 até a data do estudo (2021). Assim, as tubulações foram identificadas por meio de uma numeração, suas falhas foram catalogadas, bem como seu respectivo ano de instalação, conforme Tabela 3 (Anexo I).

Considerando que há poucos dados coletados, levando-se em conta que parte do sistema foi instalado em 1968, ferramentas que utilizam a extensão linear do processo de Yule são as mais indicadas para a presente situação, uma vez que a principal característica do LEYP, de interesse para esse estudo, é justamente o fato que sua aplicação ignora lacunas de dados e sua influência passada em longo prazo.

5.4. Análise de Falhas – Baseform

Levando-se em consideração uma perspectiva linear, seria adequado assumir que tubulações mais antigas devem estar em condições muito piores de conservação quando comparadas com tubulações mais novas.

Azeitona et al. (2018) cita que o tempo de serviço das tubulações é permeado por alta variabilidade, de modo que para que os erros consequentes da perspectiva linear, vários estudos científicos têm se dedicado a estudar o tempo de serviço e previsão de falhas em tubulações.

Esses estudos têm por finalidade apontar tubulações com maior probabilidade de falha e auxiliar nas ações de prioridade quanto à reabilitação de sistemas de modo não invasivo.

Portanto, torna-se importante a coleta de dados sobre o sistema de distribuição que se deseja investigar. Entre alguns dados importantes, pode-se citar o histórico de falhas de cada tubulação, os diâmetros, o material, o comprimento, entre outros.

Uma vez que os dados são colhidos, pode-se utilizar uma ferramenta computacional para verificação probabilística de falhas. O aplicativo de análise de falha do Baseform foi desenvolvido para esse fim, utilizando modelo georreferenciado por meio da ferramenta GIS para atribuição de características das tubulações.

Segundo Azeitona et al. (2018), a utilização da ferramenta computacional do Baseform consiste em:

- Comparar projetos, estabelecer prioridades;
- Calcular a quantidade de falhas que serão evitadas pela reposição das tubulações pelo critério probabilístico
- Calcular o volume de dinheiro que é economizado pela ação proativa em vez de reativa.

5.5. Previsão de falhas

A Tabela 4 (Anexo II) apresenta as características, bem como os resultados obtidos para cada tubulação identificada. Foi possível prever as falhas para o ano de 2021 e a taxa de falha por 100 km de tubulação.

As curvas apresentadas na figura 16 mostram que para o estudo proposto, os resultados apresentados pela previsão do software Baseform são as mais eficientes quando comparados com as outras estratégias analisadas. Ressalva-se apenas que a

substituição aleatória das tubulações, para mais de aproximadamente 50% do sistema, se apresenta mais eficiente. No entanto, a maior parte das reabilitações é feita em pequenos trechos do sistema de abastecimento.

Eixo x: % de reparo do sistema

Eixo y: % de falhas evitadas

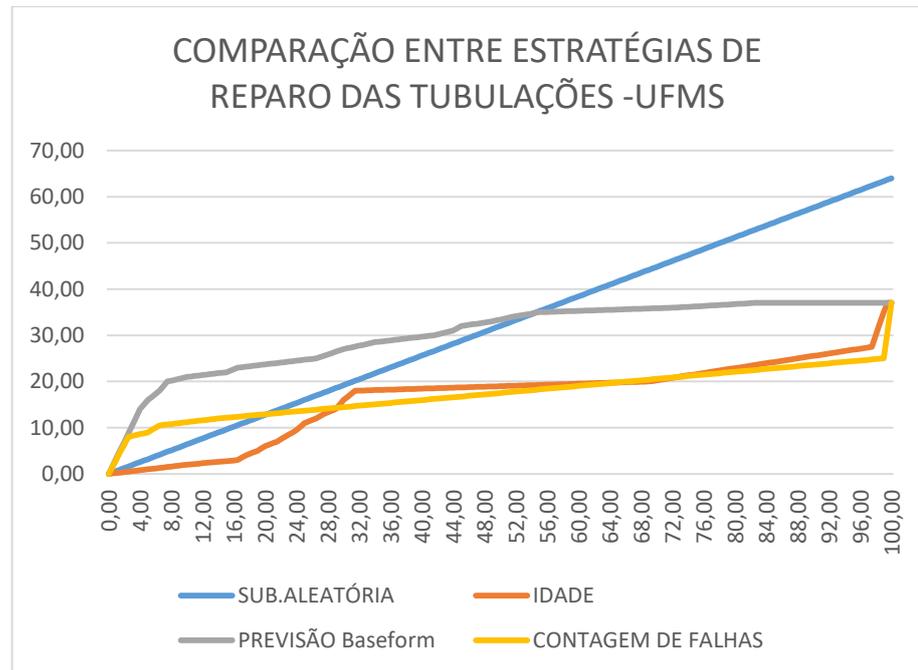


Figura 16 - Comparação entre estratégias de reparo das tubulações –UFMS

A Tabela 5 (Anexo III) apresenta um plano de substituição estratégica das tubulações para o interstício 2021-2030. A respectiva tabela apresenta também as taxas de falha e falhas previstas para as datas de substituição.

A Figura 17 apresenta o comparativo das contagens previstas de falha entre a situação em que o plano de substituição é executado e quando o plano não é executado. Enquanto a contagem de falhas tende a subir ao longo dos anos no cenário sem plano de substituição das tubulações, chegando a quase 35 falhas no ano de 2030, no cenário onde o plano de substituição é aplicado as falhas caem de cerca de 20 para menos de 15 falhas, quando observada a janela temporal entre os anos de 2021 e 2030.

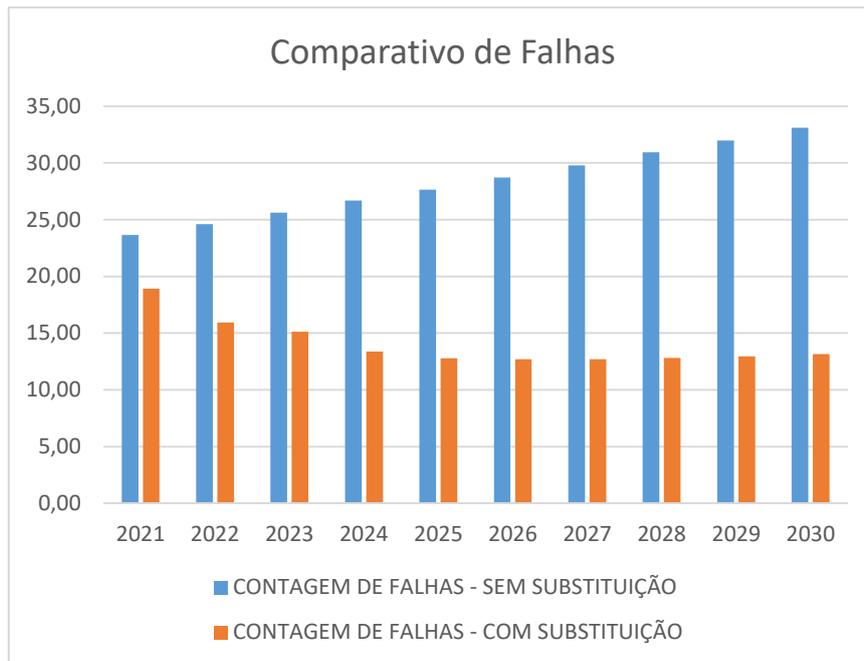


Figura 17 - Comparativo de Falhas

Assim, observa-se mais vantajoso a aplicação do método probabilístico utilizado em comparação com outras metodologias de substituição de componentes do sistema de abastecimento estudado.

Por um lado, temos que, para até cerca de 50% de substituição dos componentes do sistema, a substituição seguindo a recomendação do método probabilístico evitou mais falhas que todos os outros métodos de substituição analisados.

Por outro lado, o referido método ainda permite que se faça planejamento de substituição individual das tubulações ao longo dos anos, diferente de todos os outros métodos, de modo a evitar perdas futuras.

De acordo com o censo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010, 3396 municípios do Brasil possuem população em número inferior a 15 mil habitantes. Assim, quando comparado com a totalidade dos municípios brasileiros, essa porção representa cerca de 61% dos municípios brasileiros. Dessa maneira, o estudo é representativo para a realidade da maior parte dos sistemas públicos municipais brasileiros.

6. GUIA DE AÇÕES

O estudo demonstra a possibilidade de utilização dos sistemas de abastecimento das universidades como modelos experimentais para estudos de consumo, perdas, entre outros aspectos relacionados.

Para tanto, há a necessidade de coleta dos dados de falha das tubulações, instrumentalização dos sistemas e acompanhamento contínuo quanto a gestão da infraestrutura.

Tais ações, além de proporcionarem possibilidade de aquisição de dados e produção científica, certamente promoverão a eficiência na utilização dos sistemas de abastecimento universitários do Brasil.

Durante o período de acompanhamento de consumo de água do sistema em estudo, foi possível observar a ocorrência de perdas em locais esparsos geograficamente e em diferentes períodos. Nessa esteira, a instrumentalização do sistema permitiria que pontos de alteração de pressão fossem observados de maneira precoce, evitando longos períodos de vazamento enquanto se procura a localização exata do ponto de perda.

A coleta e armazenamento de dados, por sua vez, se mostra eficaz para identificação de picos de consumo. Os picos de consumo, como os observados na Figura 11, indicam ao gestor uma área de atenção para alteração abrupta de consumo.

Uma das análises de significativa importância é a comparação dos consumos de água e esgoto, como se observa nas Figuras 10 e 11. Esses consumos devem guardar entre si uma relação de proporcionalidade ao longo do tempo. Grandes variações nos fatores de proporcionalidade indicam alterações suspeitas de consumo no sistema, seja de água ou esgoto. Essas alterações devem ser objeto de análise dos gestores em busca de suas respectivas causas.

Observou-se no estudo de caso que os gestores do sistema possuíam boa quantidade de dados sobre o sistema, mesmo que com lacunas. No entanto, essas informações se encontram espalhadas em diversos sistemas e bancos de dados da universidade.

É desejável que essas informações estejam disponíveis em um único lugar e de maneira concatenada. Assim, sugere-se que sejam criados setores administrativos para a organização dos dados de maneira contínua, bem como o acompanhamento dos índices e consumos dos sistemas e seus componentes.

Ademais, sugere-se ainda que os dados de coleta, bem como o impacto as ações executadas estejam disponíveis para o público.

7. CONCLUSÕES

Considerando o estudo apresentado, valida-se a importância da avaliação de técnicas de gestão patrimonial em um sistema de abastecimento público universitário com a intuito de gerar metodologias e normas de operação em sistemas públicos fechados de abastecimento visando a redução de perdas.

Nota-se que a aplicação dos métodos de controle de perdas propostos surtiu efeitos positivos. Foi possível encontrar pontos globais e locais de vazamentos e repará-los. Conseqüentemente, houve redução dos consumos de água e esgoto após as intervenções.

De maneira global, foi possível observar redução de 29,29% do consumo de água anual, quando comparados os consumos dos anos de 2019 e 2020. Quando analisado o consumo individual da matrícula 17914209, na derivação do Moreirão, se observou que, antes das intervenções, as perdas permeavam os 600 m³/dia, enquanto, após, passaram a ser da ordem de 4,36 m³/dia. As constatações de perdas feitas no sistema em estudo demonstram que os investimentos em estudos de controle de perdas trazem benefícios quanto à preservação de recursos naturais, bem como economia pecuniária para o gestor do sistema de distribuição de água.

Observa-se a importância da investigação realizada quando, ao se analisar os dados do censo demográfico de 2010, se constata que 3396 municípios do Brasil possuem população igual ou inferior a 15 mil habitantes. Assim, o estudo se dedica a uma temática que representa a realidade de cerca de 61% dos municípios brasileiros.

O estudo apresentou ainda as previsões de quebra de cada tubulação identificada, bem como sugeriu um plano de substituição parcial ao longo do período de 10 anos. O método probabilístico utilizado se mostrou mais eficiente para substituição parcial das tubulações na ordem de 50%, quando comparado com outros métodos de substituição das tubulações.

Importa ressaltar que o trabalho apresenta um guia de ações para utilização dos sistemas públicos das universidades como modelos experimentais. O guia foi desenvolvido considerando as experiências adquiridas ao longo do processo de estudo do sistema objeto do trabalho. Essa implementação permitirá a obtenção de conhecimento e desenvolvimento das metodologias de gestão patrimonial de infraestruturas.

Interessa ressaltar que raramente as substituições de tubulação alcançarão 50%, de modo que, para grande parte das substituições de tubulação realizadas ao longo da vida útil do sistema de abastecimento em estudo, a utilização do método probabilístico aplicado é a melhor escolha para a indicação de quais tubulações devem ser substituídas.

8. REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 55001:2014. Gestão de ativos — Sistema de Gestão, Requisitos. 2014.

AKAGI, R. R. Previsão de falhas em redes de distribuição de água. , 2017.

AL-WASHALI, T.; SHARMA, S.; LUPOJA, R.; et al. Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 152, n. September 2019, p. 104515, 2020. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104515>>. .

ALEGRE, H.; COVAS, D. **Gestão patrimonial de infra-estruturas de águas residuais e pluviais. Uma abordagem centrada na reabilitação.** 2010.

ALMEIDA, M. DO C.; COVAS, D. MANUAL 6 Rehabilitation of sewers and operational. , , n. May 2016, 2015.

AZEITONA, M.; VITORINO, D.; COELHO, S. T. NETWORK FAILURE PREDICTION: APPLYING STATISTICS TO OPEN DATA AND CONTINUOUS DATA ACQUISITION. , p. 10–12, 2018.

BAIRD, G. M. The future of water infrastructure asset management, Part 3: Breaking down organizational silos as barriers to cost savings. **Journal - American Water Works Association**, v. 105, n. 8, p. 16–20, 2013.

BUKSHSH, Z. A.; STIPANOVIC, I. Predictive Maintenance for Infrastructure Asset Management. **IT Professional**, v. 22, n. 5, p. 40–45, 2020.

BURNS, P.; HOPE, D.; ROORDA, J. Managing infrastructure for the next generation. **Automation in construction**, v. 8, n. 6, p. 689–703, 1999.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. **EN 752:2017 Drain and sewer systems outside buildings. Sewer system management.** 2017.

COVAS, D.; CARRIÇO, M. DO C. A. N.; BRUASET, K. A. S.; UGARELLI, R. MANUAL 5 Rehabilitation of water mains. , , n. April, 2015.

FERREIRA, B.; CARRIÇO, N. J. G. Urban Water Infrastructure Asset Management Plan: Case Study. **Open Engineering**, v. 9, n. 1, p. 459–467, 2019.

FOLKMAN, S. Water Main Break Rates In the USA and Canada: A Comprehensive Study. **Utah State University Buried Structures Laboratory**, 2012.

LE GAT, Y. **Recurrent Event Modeling Based on the Yule Process_ Application to Water Network Asset Management-Wiley-I.** 2016.

LAMBERT, A. O.; BROWN, T. G.; TAKIZAWA, M.; WEIMER, D. A review of performance indicators for real losses from water supply systems. **Journal of Water**

Supply: Research and Technology - AQUA, v. 48, n. 6, p. 227–237, 1999.

LIN, P.; YUAN, X. X. A two-time-scale point process model of water main breaks for infrastructure asset management. **Water Research**, v. 150, p. 296–309, 2019. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.066>>. .

SCHEIDEGGER, A.; SCHOLTEN, L.; MAURER, M.; REICHERT, P. Extension of pipe failure models to consider the absence of data from replaced pipes. **Water Research**, v. 47, n. 11, p. 3696–3705, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.04.017>>. .

U.S. EPA. Asset Management: A Handbook for Small Water Systems. **Environmental Protection Agency Office of Water**, , n. September, p. 1–50, 2003.

ZAMPOLI, M. Guia básico para implantação da gestão de ativos em empresas de energia. , p. 64, 2012.

9. ANEXOS

9.1. Anexo I

Tabela 3 - Ocorrência de falhas por tubulação

Ocorrência	Data	Tubulação	Ano de Instalação das tubulações
1	29/01/2018	1	1991
2	08/02/2018	2	1968
3	19/02/2018	3	2019
4	05/03/2018	4	1969
5	08/03/2018	5	1969
6	12/03/2018	5	1969
7	22/03/2018	6	1968
8	26/04/2018	4	1969
9	27/04/2018	7	1981
10	18/05/2018	8	1981
11	29/05/2018	3	2019
12	29/05/2018	9	2010
13	29/05/2018	1	1968
14	06/06/2018	9	1993
15	07/06/2018	7	1968
16	07/06/2018	10	1981
17	12/06/2018	11	2010
18	20/06/2018	5	1969
19	22/10/2018	11	2010
20	18/10/2018	9	2010
21	22/11/2018	4	1968
22	21/01/2019	12	1968
23	21/01/2019	4	1969
24	21/01/2019	4	1969
25	23/01/2019	13	1968
26	31/01/2019	17	1991
27	05/02/2019	8	1981
28	11/02/2019	4	1969
29	12/02/2019	14	1993
30	20/02/2019	4	1969
31	07/03/2019	15	1968
32	11/03/2019	4	1969
33	15/04/2019	9	2010

Continuação da Tabela 4

Ocorrência	Data	Tubulação	Ano de Instalação das tubulações
34	08/05/2019	3	2019
35	17/05/2019	16	1981
36	28/05/2019	4	1969
37	28/05/2019	17	1991
38	30/05/2019	4	1969
39	30/05/2019	3	2019
40	07/06/2019	18	1968
41	10/06/2019	17	1991
42	08/07/2019	19	1968
43	23/07/2019	20	1991
44	25/07/2019	21	1968
45	01/08/2019	22	1968
46	29/08/2019	23	1981
47	26/09/2019	24	1991
48	03/10/2019	26	1968
49	07/10/2019	25	1968
50	15/10/2019	8	1981
51	24/10/2019	27	1968
52	08/11/2019	25	1968
53	12/11/2019	28	1993
54	13/11/2019	4	1969
55	25/11/2019	29	1968
56	02/12/2019	4	1969
57	13/02/2020	17	1991
58	02/03/2020	17	1991
59	06/04/2020	31	1968
60	06/04/2020	32	1968
61	04/05/2020	17	1991
62	07/05/2020	4	1969
63	07/05/2020	31	1968
64	14/06/2020	31	1968
65	11/08/2020	17	1991
66	11/08/2020	30	1968
67	05/01/2021	17	1991

9.2. Anexo II

Tabela 5 - Resultados por tubulação

ID	Material	Ano de instalação	Diâmetro (mm)	Comp. (m)	Taxa de falha para 2021 (#/100km/ano)	Rank para 2021 (%)	Falhas previstas para 2021 (#)	Falhas Observadas (#)
1	PVC	1991	110,00	57,03	455,27	60,00	0,26	2,00
2	GALV	1968	60,00	15,80	2078,25	85,71	0,33	1,00
3	PVC	2019	100,00	100,52	9,74	0,71	0,01	2,00
4	GALV	1969	85,00	49,71	8049,17	97,86	4,00	12,00
5	GALV	1969	60,00	11,46	4191,65	94,29	0,48	3,00
6	GALV	1969	85,00	134,81	86,54	10,71	0,12	1,00
7	PVC	1981	50,00	21,47	760,31	73,57	0,16	2,00
8	GALV	1968	75,00	31,48	2313,90	87,86	0,73	3,00
9	PVC	1981	75,00	73,65	2356,31	88,57	1,74	4,00
10	PVC	2010	32,00	13,37	32,99	3,57	0,00	1,00
11	PVC	2010	50,00	75,50	81,10	10,00	0,06	2,00
12	GALV	1968	25,00	18,50	352,47	52,14	0,07	1,00
13	GALV	1968	25,00	30,23	267,40	40,71	0,08	1,00
14	PVC	1993	100,00	35,06	300,16	43,57	0,11	1,00
15	GALV	1968	25,00	19,17	359,00	53,57	0,07	1,00
16	PVC	1981	50,00	81,08	481,60	62,14	0,39	1,00
17	PVC	1991	110,00	67,93	4839,75	95,71	3,29	8,00
18	GALV	1968	50,00	223,03	104,12	15,00	0,23	1,00
19	GALV	1968	25,00	56,09	496,55	63,57	0,28	1,00
20	PVC	1991	110,00	144,19	498,21	65,00	0,72	1,00
21	GALV	1968	25,00	13,00	572,85	69,29	0,07	1,00
22	GALV	1968	25,00	18,11	1243,38	82,14	0,23	1,00
23	PVC	1981	50,00	92,69	497,31	64,29	0,46	1,00
24	PVC	1991	100,00	69,11	300,62	44,29	0,21	1,00
25	GALV	1968	25,00	7,19	1542,39	83,57	0,11	2,00
26	GALV	1968	25,00	19,72	240,22	36,43	0,05	1,00
27	GALV	1968	25,00	12,15	258,54	39,29	0,03	1,00
28	PVC	1993	50,00	31,81	200,08	30,00	0,06	1,00
29	GALV	1968	25,00	50,38	155,78	22,14	0,08	1,00
30	GALV	1968	40,00	84,06	591,86	70,71	0,50	1,00
31	GALV	1968	25,00	0,92	14547,23	100,00	0,13	3,00
32	GALV	1968	32,00	36,50	193,25	27,86	0,07	1,00
33	PVC	1981	50,00	1,08	158,70	24,29	0,00	0,00
34	PVC	1981	50,00	60,01	498,62	65,71	0,30	0,00
35	PVC	1981	75,00	15,58	384,99	55,00	0,06	0,00
36	PVC	1981	60,00	3,67	211,26	31,43	0,01	0,00
37	PVC	1981	25,00	3,33	214,62	32,86	0,01	0,00
38	PVC	1981	32,00	2,58	581,72	70,00	0,02	0,00
39	PVC	1981	32,00	2,73	486,33	62,86	0,01	0,00

Continuação da Tabela 6

40	PVC	1981	60,00	2,89	921,58	78,57	0,03	0,00
41	PVC	1981	75,00	2,53	382,98	54,29	0,01	0,00
42	PVC	1993	25,00	7,06	113,88	16,43	0,01	0,00
43	PVC	1993	25,00	1,22	68,85	6,43	0,00	0,00
44	PVC	1993	25,00	1,36	69,81	7,14	0,00	0,00
45	PVC	1981	25,00	54,85	688,84	72,86	0,38	0,00
46	PVC	1981	50,00	4,84	333,75	47,86	0,02	0,00
47	PVC	1981	50,00	7,02	420,07	57,14	0,03	0,00
48	PVC	1991	25,00	1,95	139,02	20,00	0,00	0,00
49	PVC	1991	25,00	1,95	102,90	14,29	0,00	0,00
50	GALV	1968	25,00	3,41	7917,40	97,14	0,27	0,00
51	GALV	1968	25,00	2,85	2274,86	86,43	0,06	0,00
52	GALV	1968	75,00	3,49	3467,63	92,14	0,12	0,00
53	GALV	1968	75,00	4,17	2300,66	87,14	0,10	0,00
54	GALV	1968	60,00	8,40	1362,69	82,86	0,11	0,00
55	GALV	1968	60,00	16,58	641,08	72,14	0,11	0,00
56	GALV	1968	75,00	6,91	2004,22	85,00	0,14	0,00
57	GALV	1968	25,00	7,04	899,49	77,14	0,06	0,00
58	GALV	1968	32,00	35,71	268,49	41,43	0,10	0,00
59	GALV	1968	25,00	7,08	324,79	46,43	0,02	0,00
60	GALV	1968	60,00	0,50	1002,89	81,43	0,00	0,00
61	GALV	1968	60,00	7,38	308,41	45,71	0,02	0,00
62	GALV	1968	2,00	13,98	225,84	35,71	0,03	0,00
63	GALV	1968	2,00	6,39	356,38	52,86	0,02	0,00
64	GALV	1968	75,00	15,10	910,21	77,86	0,14	0,00
65	GALV	1968	60,00	3,92	8094,54	98,57	0,32	0,00
66	GALV	1968	60,00	2,16	2507,01	90,00	0,05	0,00
67	GALV	1968	60,00	8,59	843,32	75,71	0,07	0,00
68	GALV	1968	75,00	0,98	2919,38	91,43	0,03	0,00
69	GALV	1968	110,00	102,53	72,34	8,57	0,07	0,00
70	PVC	1981	50,00	11,68	275,12	42,86	0,03	0,00
71	GALV	1968	25,00	24,09	224,76	35,00	0,05	0,00
72	GALV	1968	32,00	1,81	814,96	74,29	0,01	0,00
73	GALV	1968	32,00	10,09	537,31	67,86	0,05	0,00
74	GALV	1968	25,00	24,53	339,49	48,57	0,08	0,00
75	GALV	1968	32,00	50,48	349,94	50,00	0,18	0,00
76	GALV	1968	32,00	3,12	950,33	80,00	0,03	0,00
77	GALV	1968	25,00	30,83	212,71	32,14	0,07	0,00
78	GALV	1968	32,00	25,37	274,33	42,14	0,07	0,00
79	GALV	1968	50,00	19,91	210,89	30,71	0,04	0,00
80	GALV	1968	25,00	19,80	216,92	33,57	0,04	0,00
81	GALV	1968	25,00	2,80	514,18	67,14	0,01	0,00
82	GALV	1968	50,00	0,68	930,66	79,29	0,01	0,00
83	PVC	2010	32,00	12,22	30,37	2,14	0,00	0,00

Continuação da Tabela 7

84	PVC	1981	32,00	12,64	553,36	68,57	0,07	0,00
85	PVC	2010	50,00	4,60	33,69	4,29	0,00	0,00
86	PVC	2010	50,00	2,92	32,27	2,86	0,00	0,00
87	GALV	1968	75,00	17,06	889,58	76,43	0,15	0,00
88	GALV	1968	25,00	36,93	127,69	17,86	0,05	0,00
89	GALV	1968	32,00	29,72	450,90	59,29	0,13	0,00
90	GALV	1968	50,00	34,98	138,78	19,29	0,05	0,00
91	GALV	1968	32,00	22,79	195,60	29,29	0,04	0,00
92	GALV	1968	32,00	6,09	418,06	56,43	0,03	0,00
93	GALV	1968	32,00	31,08	257,32	38,57	0,08	0,00
94	GALV	1968	32,00	17,95	351,05	50,71	0,06	0,00
95	GALV	1968	32,00	23,34	252,37	37,14	0,06	0,00
96	GALV	1968	32,00	4,34	470,64	61,43	0,02	0,00
97	GALV	1968	32,00	2,42	593,80	71,43	0,01	0,00
98	GALV	1968	25,00	5,53	331,07	47,14	0,02	0,00
99	GALV	1968	25,00	42,35	154,21	21,43	0,07	0,00
100	GALV	1968	25,00	17,27	303,58	45,00	0,05	0,00
101	PVC	1993	100,00	14,81	118,43	17,14	0,02	0,00
102	PVC	1993	100,00	63,91	183,09	27,14	0,12	0,00
103	PVC	1993	100,00	12,33	139,92	20,71	0,02	0,00
104	PVC	1993	100,00	84,54	255,33	37,86	0,22	0,00
105	PVC	1993	100,00	44,43	178,04	26,43	0,08	0,00
106	PVC	1993	100,00	60,07	218,26	34,29	0,13	0,00
107	GALV	1968	25,00	11,50	443,54	58,57	0,05	0,00
108	PVC	2010	50,00	12,51	35,70	5,00	0,00	0,00
109	PVC	2010	50,00	5,22	25,14	1,43	0,00	0,00
110	PVC	1991	50,00	2,02	965,87	80,71	0,02	0,00
111	PVC	1991	50,00	9,36	1555,68	84,29	0,15	0,00
112	PVC	1981	50,00	74,80	462,95	60,71	0,35	0,00
113	PVC	1981	50,00	26,18	263,98	40,00	0,07	0,00
114	PVC	1993	50,00	57,46	168,75	25,71	0,10	0,00
115	PVC	1993	50,00	28,93	129,83	18,57	0,04	0,00
116	PVC	1993	50,00	21,15	157,66	23,57	0,03	0,00
117	PVC	1993	25,00	1,84	72,06	7,86	0,00	0,00
118	PVC	1993	25,00	5,91	102,68	13,57	0,01	0,00
119	PVC	1993	50,00	23,46	167,82	25,00	0,04	0,00
120	PVC	1993	50,00	19,42	156,09	22,86	0,03	0,00
121	GALV	1968	25,00	9,74	2390,14	89,29	0,23	0,00
122	GALV	1968	25,00	0,82	6775,11	96,43	0,06	0,00
123	GALV	1968	25,00	3,23	3587,47	92,86	0,12	0,00
124	PVC	1991	100,00	2,16	81,05	9,29	0,00	0,00
125	PVC	1991	100,00	67,53	195,41	28,57	0,13	0,00
126	GALV	1968	60,00	2,16	2635,33	90,71	0,06	0,00
127	PVC	1968	60,00	9,44	507,66	66,43	0,05	0,00

Continuação da Tabela 8

128	PVC	1981	50,00	6,02	437,59	57,86	0,03	0,00
129	GALV	1969	85,00	141,93	60,07	5,71	0,09	0,00
130	GALV	1969	85,00	53,10	92,37	11,43	0,05	0,00
131	GALV	1969	85,00	49,83	341,00	49,29	0,17	0,00
132	GALV	1969	85,00	49,40	403,07	55,71	0,20	0,00
133	GALV	1969	85,00	46,23	98,03	12,86	0,05	0,00
134	PVC	1981	50,00	35,29	351,87	51,43	0,12	0,00
135	GALV	1969	85,00	49,61	95,05	12,14	0,05	0,00
136	PVC	1991	100,00	4,47	112,15	15,71	0,01	0,00
137	GALV	1968	25,00	22,57	831,69	75,00	0,19	0,00
138	GALV	1968	25,00	0,59	4657,04	95,00	0,03	0,00
139	GALV	1968	25,00	3,12	8550,18	99,29	0,27	0,00
140	GALV	1968	25,00	21,29	4029,73	93,57	0,86	0,00

9.3. Anexo III

Tabela 9 - Plano de substituição das tubulações 2021-2030

ID	Ano de Substituição	Taxa de falha prevista (#/100km/ano)	Falhas previstas (#)
2	2026	2423,04	0,38
4	2021	8049,22	4,00
5	2023	4469,60	0,51
8	2025	2619,09	0,82
9	2024	2671,39	1,97
17	2022	5115,43	3,47
22	2028	1540,07	0,28
25	2027	1851,38	0,13
31	2021	14547,31	0,13
40	2029	1256,18	0,04
50	2022	8173,24	0,28
51	2026	2652,27	0,08
52	2024	3818,80	0,13
53	2026	2682,35	0,11
54	2028	1687,85	0,14
56	2027	2405,73	0,17
57	2030	1174,94	0,08
60	2029	1274,21	0,01
64	2029	1156,47	0,17
65	2021	8094,59	0,32
66	2024	2760,89	0,06
68	2024	3215,02	0,03
76	2029	1207,44	0,04
82	2029	1182,45	0,01
87	2030	1161,99	0,20
110	2029	1441,23	0,03
111	2027	2117,86	0,20
121	2025	2705,38	0,26
122	2022	6994,04	0,06
123	2024	3950,77	0,13
126	2024	2902,21	0,06
138	2023	4959,99	0,03
139	2021	8550,23	0,27
140	2023	4291,87	0,91