



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA

EDUARDO LUIZ CHAVES DE MEDEIROS

**HIERARQUIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS ALTERNATIVAS DE
CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

CARUARU
2018

EDUARDO LUIZ CHAVES DE MEDEIROS

**HIERARQUIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS ALTERNATIVAS DE
CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: **Saneamento.**

Orientador: Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra.

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

M488h Medeiros, Eduardo Luiz Chaves de.
Hierarquização das principais alternativas de controle de perdas de água em sistemas de distribuição de água. / Eduardo Luiz Chaves de Medeiros. – 2018. 55f.; il.: 30 cm.

Orientador: Saulo de Tarso Marques Bezerra.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018.
Inclui Referências.

1. Abastecimento de água. 2. Controle de perdas. 3. Controle de pressão. 4. Infraestrutura. 5. Água – desperdício. I. Bezerra, Saulo de Tarso Marques (Orientador). II. Título.

CDD 620 (23. ed.)

UFPE (CAA 2018-430)

EDUARDO LUIZ CHAVES DE MEDEIROS

**HIERARQUIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS ALTERNATIVAS DE
CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: **Saneamento.**

Aprovada em: 19 / 12 / 2018 .

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra: _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof.^a Dr.^a Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves: _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Prof. Msc. Armando Dias Duarte: _____

Faculdade do Belo Jardim – FBJ (Avaliador)

Prof. Dr. Elder Alpes de Vasconcelos: _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina de TCC)

Dedico este trabalho à minha mãe Jerlene Chaves Monteiro, que sempre me incentivou e apoiou nos momentos de dificuldade, e à minha irmã Natália Francielle Monteiro Porpino, por me servir de inspiração para toda a vida, mostrando-me que as grandes conquistas são alcançadas com bastante empenho.

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as bênçãos em minha vida.

À minha mãe, Jerlene Chaves Monteiro, e à minha irmã, Natália Francielle Monteiro Porpino, que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse a essa etapa da minha vida.

À minha avó Creusa Chaves Monteiro, à minha prima e madrinha Sharlene Francis Monteiro Mendes e aos meus demais familiares pelo incentivo e apoio incondicional.

Aos meus amigos Júlia, Fabrícia, Elyson, Gisely, Érica, Joelithon, Ana Vitória, Maria Paula e Katielly, por serem meus cúmplices durante a graduação, e por me mostrarem que grandes laços de amor e amizade podem ser formados em tão pouco tempo.

Aos meus amigos do Ceará Sadan e Letícia, por estarem ao meu lado, apesar da distância, por acreditarem na minha capacidade, e me incentivarem a nunca desistir de continuar.

Aos meus mentores espirituais, por sempre guardarem pela minha segurança e pelo meu sucesso.

Ao Curso de Engenharia Civil da UFPE, e às pessoas com quem convivi ao longo desses anos. A experiência de uma produção compartilhada na comunhão com amigos foi a melhor experiência da minha formação acadêmica.

Ao professor Saulo de Tarso Marques Bezerra, pelo suporte e orientação, tornando esse trabalho possível de ser realizado.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta etapa da minha vida.

“Desenvolver força, coragem e paz interior demanda tempo. Não espere resultados rápidos e imediatos, sob o pretexto de que decidiu mudar. Cada ação que você executa permite que essa decisão se torne efetiva dentro de seu coração”.

Dalai Lama.

RESUMO

Um dos principais desafios enfrentados pelas empresas de abastecimento de água é o alto nível de perdas de água nos sistemas de distribuição. Essas perdas correspondem ao volume hídrico não faturado pela concessionária local, ou perdido por meio de vazamentos em adutoras e redes, ou extravasamento de reservatórios. O objetivo desse trabalho é o estudo da viabilidade da aplicação de alternativas na gestão das perdas de água em sistemas de abastecimento de água de municípios de médio porte de Pernambuco, visando reduzi-las, por meio da aplicação do modelo multicritério PROMETHEE. O método PROMETHEE foi aplicado para avaliar as diversas opções para o problema, por meio da reflexão da opinião de diferentes especialistas no assunto. O modelo desenvolvido estabeleceu uma relação de hierarquização entre as soluções propostas, analisando-se os critérios estabelecidos pelo agente decisor. As alternativas estabelecidas foram o controle ativo de perdas, a gestão da pressão e a gestão da infraestrutura. Com a ferramenta PROMETHEE foi possível chegar a uma solução viável para a problemática. A gestão da pressão foi a alternativa que obteve o melhor desempenho, por ter sido bem avaliado nos quatro critérios considerados. Além disso, o modelo se mostrou bastante eficiente ao unificar a opinião do grupo de especialistas.

Palavras-chave: Eficiência Hidráulica. Controle de pressão. Controle ativo de perdas. Gestão da infraestrutura. PROMETHEE.

ABSTRACT

One of the major challenges faced by water companies is the high level of water losses in distribution systems. These water losses correspond to the volume of water not billed by the local concessionaire, or lost through leaks in mains and networks, or extravasation of reservoirs. The objective of this work is to evaluate the viability of the application of alternatives in the management of water losses in water supply systems of medium-sized cities of Pernambuco, in order to reduce them through the application of the multicriteria model PROMETHEE. The PROMETHEE method was applied to evaluate the various options for the problem, through the reflection of the opinion of different specialists in the subject. The developed model established a hierarchical relationship between the proposed solutions, analyzing the criteria established by the decision agent. The alternatives established were active loss control, pressure management and infrastructure management. With the PROMETHEE tool, it was possible to reach at a viable solution to the problem. Pressure management was the alternative that obtained the best performance, since it was well evaluated in the four criteria considered. In addition, the model proved to be very efficient in unifying the expert group's opinion.

Keywords: Hydraulic Efficiency. Pressure management. Active leakage control. Infrastructure management. PROMETHEE.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Componentes do Balanço Hídrico.....	21
Quadro 2 – Critérios gerais para o PROMETHEE.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Avaliação de n alternativas para k critérios	35
Tabela 2 – Matriz de avaliação.....	43
Tabela 3 – Identificação das alternativas, critérios e subcritérios	43
Tabela 4 – Matriz de funções preferência do subcritério C1 (tempo de implementação).....	44
Tabela 5 – Matriz de funções preferência do subcritério C2 (danos à infraestrutura)	44
Tabela 6 – Matriz de funções preferência do subcritério C3 (viabilidade de implantação).....	45
Tabela 7 – Matriz de funções preferência do subcritério C4 (complexidade de implantação)	45
Tabela 8 – Matriz de funções preferência do subcritério C5 (redução do consumo de água)..	46
Tabela 9 – Matriz de funções preferência do subcritério C6 (redução das perdas de água)	46
Tabela 10 – Matriz de funções preferência do subcritério C7 (custo de implementação)	47
Tabela 11 – Matriz de funções preferência do subcritério C8 (tempo de retorno dos investimentos).....	47
Tabela 12 – Matriz dos graus de sobreclassificação.....	47
Tabela 13 – Matriz do índice de preferência (fluxos)	48
Tabela 14 – Resultado da aplicação do método	48

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1.	Perdas de água	15
3.1.1.	Perdas reais.....	18
3.1.2.	Perdas aparentes	19
3.1.3.	Balanço hídrico.....	20
3.1.4.	Importância econômica relacionada com as perdas	24
3.2.	Gestão das perdas de água.....	25
3.2.1.	Gestão de pressão	26
3.2.2.	Gestão da infraestrutura.....	27
3.2.3.	Velocidade e qualidade dos reparos	28
3.2.4.	Controle ativo das perdas	29
3.2.5.	Estabelecimento de um objetivo para a gestão de perdas	30
3.3.	Externalidades das perdas	31
3.4.	Modelos multicritérios de apoio à decisão	32
3.4.1	Método PROMETHEE.....	33
4.	METODOLOGIA	40
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
6.	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
	APÊNDICE I – Questionário	54

1. INTRODUÇÃO

A progressiva deterioração dos recursos hídricos e o agravamento dos conflitos entre os diversos usuários impulsionam discussões sobre a situação atual e futura da água em todo o mundo. No setor de saneamento brasileiro, o desperdício de água começa pela contaminação dos mananciais urbanos e prossegue pelos vazamentos nas adutoras, reservatórios e redes de distribuição. Os índices brasileiros de perda de água são superiores ao dobro do índice internacionalmente aceito pela comunidade científica.

As perdas são influenciadas por diversos fatores infraestruturais e operacionais. Estas dependem basicamente das características das redes de distribuição e de fatores relacionados às práticas de operação, do nível de tecnologia do sistema e da expertise dos técnicos responsáveis pelo controle dos processos (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

A universalização do acesso à água em condições de potabilidade, com implantação e manutenção de uma infraestrutura capaz de atender de maneira adequada e otimizada a demanda dos grandes centros urbanos, é o grande desafio dos prestadores de serviço público de abastecimento de água para as próximas décadas. É reconhecido que uma gestão que visa o controle e a redução de perdas permite postergar investimentos em ampliação dos sistemas de produção e o melhor equacionamento dos investimentos para a universalização do acesso aos serviços (BRITTO, 2011).

Dentre os novos referenciais, a perspectiva de aumento continuado da oferta de água, que orienta a gestão “tradicional” dos serviços de abastecimento, vem sendo substituída por uma perspectiva de gestão eficiente, que proporciona um aumento virtual da disponibilidade de água. As companhias de saneamento têm a responsabilidade pelo uso racional da água, assim, ações e políticas devem ser postas em prática para a diminuição das perdas e desperdícios. Ao diminuir as perdas de água, a concessionária reduz o volume captado e, conseqüentemente, os mananciais são preservados. E além de impactar diretamente no faturamento, as perdas afetam a imagem das empresas junto à sociedade, aos agentes financiadores, aos órgãos ambientais e ao poder público.

O desenvolvimento de técnicas direcionadas especificamente para a gestão de perdas em sistemas de distribuição de água é, relativamente, novo. Atualmente, o tema “perdas de água” está sendo objeto de estudos realizados em diversas instituições de pesquisa e companhias de saneamento, que visam quantificar, classificar e determinar padrões para os processos das empresas. Apesar dos estudos empíricos serem importantes, o desenvolvimento

de novas técnicas e metodologias que empregam princípios baseados em conhecimentos predominantemente científicos, como, por exemplo, teorias da engenharia hidráulica, sistemas de suporte à decisão, e modelos de gestão (planejamento estratégico), é imprescindível.

As perdas de água são classificadas em aparentes e reais. As perdas aparentes, também chamadas de perdas não físicas e perdas comerciais, correspondem ao volume de água consumido, mas que não é contabilizado pela companhia de abastecimento, ou seja, é a parte da água distribuída que não foi “fisicamente perdida”, mas não gerou receita a empresa.

As perdas aparentes são causadas por ligações clandestinas (chamadas popularmente de “gatos”), roubo ou uso ilegal (por exemplo, retirada de água em válvulas de descargas de adutoras), fraudes nos hidrômetros, erros de leituras dos hidrômetros e falhas no cadastro comercial (cadastro desatualizado, ligação não cadastrada por descuido, registro de inatividade em ligação ativa) (BEZERRA e CHEUNG, 2013).

As perdas reais representam o volume efetivamente perdido no sistema. As perdas reais são decorrentes de vazamentos que ocorrem nas tubulações das adutoras e nas redes de distribuição, nos ramais das ligações prediais, nas estações de tratamento de água e nos extravasamentos de reservatórios.

A quantidade de água perdida devido a vazamentos nas redes de distribuição representa um dos maiores desafios para os gerentes das empresas, não só por causa do custo, mas também porque implica impactos na sociedade e no meio ambiente. Fato que é agravado em regiões onde a disponibilidade hídrica é limitada, que é o caso da Região Nordeste. Portanto, as decisões técnicas devem basear-se em um exercício de tomada de decisão que inclua um maior número de critérios, além dos aspectos puramente técnicos e econômicos que normalmente são levados em consideração na avaliação de um projeto.

A tomada de decisão sobre a gestão de perdas é complexa e representa um desafio para os gestores. Se o problema for observado unicamente do ponto de vista econômico, é possível que as ações se resumam apenas na substituição de hidrômetros e na reparação de vazamentos evidentes ou relatados. No entanto, dado que é um serviço público imprescindível para os usuários e que as decisões tomadas pela empresa têm amplos impactos, deve-se buscar soluções que avaliem diversos critérios, além dos aspectos técnicos e econômicos usuais, para que as ações impostas sejam as mais apropriadas para a empresa, a população e o meio ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Aplicar neste trabalho o método multicritério PROMETHEE II para hierarquizar as principais alternativas voltadas à gestão de perdas de sistemas de abastecimento de água para municípios de médio porte de Pernambuco.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a viabilidade da aplicação da metodologia PROMETHEE para definir a melhor alternativa para minimizar perdas de água em sistemas de abastecimento de água;
- Avaliar a viabilidade da aplicação das alternativas direcionadas à gestão de perdas de água de sistemas de abastecimento de água de municípios de médio porte de Pernambuco.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, o embasamento conceitual que serve como suporte do desenvolvimento do trabalho é apresentado, onde a definição e os conceitos primordiais relacionados às perdas de água em sistemas de abastecimento de água são abordados. Dessa forma, os tipos de perdas e sua importância são demonstrados de forma sucinta, além das ações para controle e gestão dessas perdas. Ademais, é explicado como é desenvolvido a estruturação de problemas relacionados com o assunto em questão e sua resolução por meio do método PROMETHEE II de apoio multicritério a decisão.

3.1. Perdas de água

Segundo Alegre *et al.* (2005), perdas de água correspondem ao volume de água que pode ser calculado por meio da diferença entre a água que entra no sistema de abastecimento e a água consumida pela população. Para esse cálculo, devem ser consideradas as circunstâncias das perdas, devido ao fato de que elas podem ocorrer a partir da rede de água não tratada até as zonas do sistema de distribuição de água. As perdas de água podem ser divididas em duas classificações: perdas reais, ou físicas, e perdas aparentes, ou não físicas. Registrar a quantidade de água perdida é necessário para avaliar a eficiência do sistema de abastecimento de água, visto que se podem determinar perdas de água em todo o sistema, como no sistema de adução ou nas redes de distribuição.

É interessante ressaltar que esse cálculo é relativamente simples de ser feito, porque apenas depende do volume de água de entrada no sistema, algo fácil de ser aferido por meio da empresa concessionária, e do volume medido nos hidrômetros das residências locais. Como já foi mencionando anteriormente, existem perdas reais, que constituem as perdas físicas que ocorrem nas adutoras e nas redes de distribuição de água, e aparentes, que constituem a água de abastecimento não faturada. Porém, o maior problema com relação a essa questão é determinar onde ocorrem tais perdas.

Segundo Miranda (2002), gerenciar as perdas de água é desafiador, pois exige esforço e, principalmente, conhecimento de todas as causas que implicam na ocorrência das mesmas. É fundamental haver um planejamento íntegro na gestão das perdas, desde a caracterização e diagnóstico do problema, até a obtenção de um plano de ação, objetivando-se atingir um controle preciso das perdas e, assim, podendo programar ações para reduzi-las. Controlar e combater as perdas de água é fundamental, principalmente em regiões onde há escassez de

água, ou altos volumes de água não faturados, o que pode causar problemas financeiros ao operador.

A gestão das perdas de água consiste em uma série de ações que são realizadas para combater e reduzir o número de perdas de água em um sistema de abastecimento, levando em conta os inúmeros custos e prejuízos que tais perdas podem ocasionar. Para isso, é preciso determinar o nível de perdas do sistema, e os recursos que a empresa possui para combatê-las. Feito isso, determina-se as ações que podem ser executadas para reduzir as perdas, de acordo com os objetivos planejados e os cálculos realizados. É importante que a redução das perdas seja economicamente rentável para a empresa concessionária, pois a redução de custos resulta em maiores investimentos nos sistemas de abastecimento de água, melhorando a qualidade da água que será usufruída pela população.

Conforme Bezerra e Cheung (2013), determinar as perdas de água em um sistema de abastecimento é evidente e muito intuitivo, pois, teoricamente, é um cálculo que depende apenas do volume disponibilizado pela empresa concessionária e do volume consumido pela população. Entretanto, esse cálculo pode variar muito, dependendo da infraestrutura da rede hidráulica, dos técnicos responsáveis pelo controle da distribuição e das características ímpares de cada sistema de abastecimento. Por esse motivo, é importante que o técnico responsável pelo gerenciamento das perdas de água aprenda todos os conceitos fundamentais relacionados às perdas de água, antes de tentar solucionar problemas relacionados a tais perdas.

Um profissional qualificado na área é determinante para evitar equívocos no momento de aferir o valor das perdas de água. É interessante evidenciar a sua importância socioeconômica, devido ao fato de que cada metro cúbico de água gera um custo para a empresa concessionária, desde a retirada da água da fonte até o tratamento e distribuição da mesma. Logo, toda a água não faturada gera uma carência nos lucros da concessionária, além de prejudicar o abastecimento da população local, levando em conta a importância do acesso à água potável.

Segundo um levantamento feito pelo *International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities*, ou IBNET, que avalia a porcentagem de perdas de água tratada de 43 países, o Brasil se encontra na 20ª posição. De acordo com o estudo, o Brasil perde cerca de 39% da água que entra em seu sistema de abastecimento. Em comparação, os Estados Unidos perdem cerca de 13% de sua água tratada, evidenciando a qualidade dos sistemas de abastecimento de água dos países de primeiro mundo (IBNET, 2011).

Segundo o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, divulgado anualmente pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, no ano de 2011, o índice de perdas de água do Brasil era de 38,8%, valor semelhante ao verificado no levantamento feito pelo IBNET (2011). No diagnóstico mais recente, do ano de 2016, o índice de perdas do Brasil era de 38,1%, indicando que o país vem reduzindo de forma lenta a porcentagem de perda de água tratada. Esse diagnóstico é feito com base nos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, ou SNIS, que calcula os indicadores de perdas com base nos resultados dos índices de perdas na distribuição (SNIS, 2016).

Os índices de perdas de água são parâmetros valorizados para avaliar a eficiência das redes de abastecimento. Como pôde ser visto nos levantamentos anteriores, o Brasil ainda possui um índice de perdas elevado, quando comparado com os índices de países desenvolvidos, apesar de mostrar uma leve redução de seus índices com o passar dos anos. O investimento em novas tecnologias, em equipamentos mais eficientes e na especialização de profissionais nessa área é crucial para diminuir tais indicadores de desempenho de perdas, moderando os custos investidos e melhorando a qualidade dos sistemas de abastecimento de água do país.

Diferentes estudiosos da área de recursos hídricos pesquisaram sobre perdas de água em sistemas de abastecimento. Eles analisaram alguns casos específicos e apresentaram novas metodologias, com o objetivo de avaliar as melhores formas de reduzir as perdas (MALM *et al.*, 2015; ZYOUND *et al.*, 2016; ABU-MAHFUOZ *et al.*, 2016; GÜNGÖR, YARAR e FIRAT, 2017).

Malm *et al.* (2015) realizaram um estudo que apresenta um novo método para avaliar vazamentos de sistemas de distribuição de água através de análise de custo-benefício combinado (CBA) e análise de incerteza, considerando quatro alternativas para o controle de vazamentos. Zyoud *et al.* (2016) demonstraram a eficácia das abordagens de análise de decisão multicritério para o suporte à decisão. Os pesquisadores realizaram um estudo que identificou as principais opções entre um conjunto de opções que foram propostas dentro de uma estrutura de estratégias para reduzir as perdas de água nos sistemas de distribuição de água dos países em desenvolvimento.

Além disso, Abu-Mahfouz *et al.* (2016) propuseram, um sistema de controle baseado em modelo hidráulico dinâmico em tempo real conectado à capacidade de detecção e atuação quase em tempo real na rede de distribuição de água como uma abordagem eficaz para implementar uma rede de distribuição de água eficiente, confiável e adaptável para redução de

perdas de água. Güngör, Yazar e Firat (2017) examinaram, por meio de um estudo, os efeitos do gerenciamento de material de tubulação e reabilitação de redes sobre as perdas físicas de água e gerenciamento de perdas de água em uma rede de distribuição de água.

3.1.1. Perdas reais

Segundo Palini Junior (2008), perdas físicas é o volume de água não faturado, que tem origem em vazamentos nos tubos de distribuição do sistema de abastecimento, por meio de furos nas paredes dos tubos, ou perdas nos ramais de ligação. Além disso, tais perdas podem originar-se durante procedimentos operacionais, podendo ocorrer durante a manutenção dos equipamentos que compõe o sistema. Ainda segundo o autor, essas falhas podem ocorrer em consequência de erros na fase de planejamento e projeto, como erros na identificação da demanda de consumo, ou na fase de execução e operação, como a ausência de controle construtivo durante a execução do projeto.

As perdas reais são constituídas pela água produzida pela empresa concessionária, mas que não é consumida pela população, devido a perdas volumétricas de água em todo o sistema de distribuição. Podem ocorrer também devido a procedimentos operacionais inadequados, como a lavagem dos filtros das estações de tratamento de água (ETA) para o abastecimento ou a limpeza da rede de distribuição. As perdas reais podem ser identificadas desde a captação da água em sua fonte, até as zonas de distribuição dessa água para as residências locais.

Segundo o Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto de 2016, realizado pelo SNIS (2016), as perdas reais podem acontecer devido a vazamentos em qualquer parte do sistema de distribuição, sejam nas adutoras, nos ramais, nas conexões, ou em qualquer outro componente operacional do sistema. Muitos fatores podem influenciar na ocorrência dessas perdas, como, por exemplo: a idade da tubulação, os materiais utilizados, a qualidade da mão de obra executora do projeto, e a possível ausência de fiscalização da execução do mesmo. Além disso, com relação aos procedimentos operacionais, cuidados devem ser tomados para não utilizar mais água do que o necessário para realizar tais tarefas, o que acarretaria no aumento das perdas do sistema.

Conforme Marcka (2005), o volume de água utilizado nos procedimentos operacionais da rede, como a limpeza dos filtros, floculadores e decantadores nas ETA, não pode ser evitado de ser perdido. Entretanto, é importante fazer um bom uso dessa água, evitando, assim, que seja utilizado um volume maior do que o necessário para executar tais procedimentos. A redução das perdas reais tem fundamental importância econômica, pois

reduzir as perdas físicas do sistema acarreta no aumento da receita da empresa concessionária, que pode investir na qualidade da rede de distribuição e disponibilizar uma maior quantidade de água para a população sem aumentar os custos de produção.

Como é evidente, identificar os fatores de influência das perdas reais é necessário para diminuir as suas ocorrências, além de serem determinantes para a elaboração de alternativas para o controle dessas perdas. Ademais, é importante executar corretamente os procedimentos operacionais da rede de distribuição, garantindo o bom uso da água, e, assim, evitando que aconteçam mais perdas do que o inevitável.

3.1.2. Perdas aparentes

Conforme Werdine (2002), as perdas aparentes constituem o volume de água consumido não autorizado, devido à imprecisão dos equipamentos de medição da vazão no sistema de distribuição ou dos hidrômetros, que medem o volume disponível para os usuários. Essas perdas também são chamadas de perdas comerciais, ou de faturamento, por possuir como principal indicador a relação entre o volume disponível e o volume não faturado. As perdas aparentes representam a maior parte das perdas de água, pois o seu controle depende de aspectos técnicos e de procedimentos comerciais, que necessitam de uma gestão integrada.

Segundo o Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto, realizado pelo SNIS (2016), as perdas aparentes são todo volume de água efetivamente consumida pelos usuários, mas que não foi contabilizada, gerando perda de faturamento pela empresa concessionária. Essas perdas ocorrem devido aos erros de medição, como erros de leitura e falhas nos equipamentos, ao consumo clandestino, às ligações irregulares nos ramais, entre outros fatores.

As perdas não físicas são representadas pelo volume de água consumido pela população, mas que não teve faturamento revertido para a empresa concessionária. Essas perdas também podem ser definidas como sendo a diferença entre o volume de água produzido e o volume faturado. Outros exemplos de ocorrência desse tipo de perda seriam em consumos de ligações inativas, com hidrômetro parado, e perdas geradas pelo uso da água com políticas de estorno.

Segundo Miranda (2002), as perdas físicas constituem o volume de água utilizado por ligações ilegais, além do volume de água não medido, devido a falhas nos hidrômetros ou fraudes nos mesmos. Grande parte da população usufrui de água por meio de ligações

irregulares, pelo fato de não haver a devida fiscalização do faturamento dessa água disponibilizada. Outro fator que pode justificar a ocorrência dessas perdas é a falta de hidrômetros nas residências, impossibilitando a medição da vazão de água.

É notável que as perdas aparentes sejam mais difíceis de identificar, pelo fato de ocorrer devido a falhas dos equipamentos utilizados, e por atividade ilegal por parte dos usuários. Werdine (2002) considera que é preciso integrar todos os serviços envolvidos na gestão das perdas aparentes, que seriam os setores técnicos, comerciais, e de faturamento de serviços de saneamento.

Para reduzir esse tipo de perda, é preciso melhorar o monitoramento dos equipamentos de medição. Além disso, tornar a fiscalização mais rigorosa, tendo em mente que o aumento das perdas aparentes é revertido na perda de faturamento pela empresa prestadora de serviços, também é uma alternativa interessante, tendo como consequência a diminuição do custo da água de abastecimento para a população.

3.1.3. Balanço hídrico

Conforme Bezerra e Cheung (2013), O balanço hídrico é uma forma de identificar o volume de água que foi produzido, consumido, faturado e perdido, além de averiguar se determinadas ações feitas na rede de distribuição surtiram efeito. Esse balanço pode ser utilizado para avaliar as perdas de água desde a captação da água em sua fonte, até sua chegada às residências locais, por meio da análise de planilhas quantitativas, onde é mostrado todo o consumo e perdas que ocorrem no sistema de abastecimento de água. O cálculo do balanço hídrico é feito determinando-se a diferença entre o volume de água que entra no sistema e o volume de água consumido pelos usuários. São representados no Quadro 1 os componentes do balanço hídrico.

Conforme Miranda (2002), o volume de água perdido é fundamental para avaliar a eficiência de um sistema de abastecimento de água. Uma ferramenta muito usada para a gestão dessas perdas é o cálculo do balanço hídrico, que permite calcular esse volume de água perdido. É importante salientar que alguns dados do balanço podem ser estimados, havendo a necessidade de aplicar um modelo confiável para analisar os dados utilizados no balanço.

Quadro 1 – Componentes do Balanço Hídrico

Volume que entra no sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo autorizado medido (incluir água exportada)	Água faturada
			Consumo faturado não medido (estimado)	
		Consumo autorizado não faturado	Consumo não faturado medido	Água não faturada
			Consumo não faturado não medido	
	Perdas de água	Perdas aparentes	Uso não autorizado	
			Erros de medição	
		Perdas reais	Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição	
			Vazamentos e extravasamentos em reservatórios	
Vazamentos em ramais prediais (a montante do ponto de medição)				

Fonte: Lambert *et al.* (1999)

Segundo Alegre, Coelho e Almeida (2005), uma linguagem comum entre os profissionais envolvidos nos processos de sistemas de abastecimento de água é importante para evitar erros de interpretação e tomadas de decisão equivocadas. A seguir, são esquematizados os conceitos fundamentais relacionados ao balanço hídrico e sua terminologia recomendada. Esses conceitos são adotados pela Associação Internacional de Água (IWA) (LAMBERT *et al.*, 1999).

- *Água captada*: volume anual de água obtida a partir da captação de água bruta;
- *Água bruta, importada ou exportada*: volume anual de água bruta transferido de ou para outros sistemas de adução e distribuição (as transferências podem ocorrer em qualquer ponto entre a captação e a estação de tratamento);
- *Água fornecida ao tratamento*: volume anual de água bruta que segue às instalações de tratamento;
- *Água produzida*: volume anual de água tratada que é fornecida às adutoras ou diretamente ao sistema de distribuição. O volume anual de água sem tratamento prévio que é distribuído aos consumidores também deve ser contabilizado como água produzida;

- *Água tratada, importada ou exportada*: volume anual de água tratada transferido de ou para o sistema de abastecimento (as transferências podem ocorrer em qualquer ponto a jusante do tratamento);
- *Água fornecida à adução*: volume anual de água tratada que segue ao sistema de adução;
- *Água fornecida para distribuição*: volume anual de água tratada que segue ao sistema de distribuição;
- *Água fornecida para distribuição direta*: volume de água correspondente à diferença entre a água fornecida para distribuição e a água tratada exportada;
- *Água que entra no sistema*: volume anual que entra na parte do sistema de abastecimento de água que é objeto do cálculo do balanço hídrico;
- *Consumo autorizado*: volume anual de água, medido ou não medido, faturado ou não, fornecido a consumidores autorizados, para usos domésticos, comerciais ou industriais, e à própria entidade gestora. Inclui a água exportada. O consumo autorizado pode incluir água para combate a incêndio, lavagem de condutas e coletores, lavagem de ruas, rega de espaços verdes municipais, etc. O consumo autorizado inclui as fugas e o desperdício, por parte de clientes registrados, que não são medidos;
- *Perdas de água*: volume de água correspondente à diferença entre a água que entra no sistema e o consumo autorizado. As perdas de água dividem-se em perdas reais e perdas aparentes;
- *Perdas reais*: volume de água correspondente às perdas físicas até ao contador do cliente, quando o sistema está pressurizado. O volume anual de perdas através de todos os tipos de fissuras, roturas e extravasamentos depende da frequência, da vazão e da duração média de cada perda;
- *Perdas aparentes*: esta parcela das perdas contabiliza todos os tipos de imprecisões associadas às medições da água produzida e da água consumida, e ainda o consumo não autorizado (por furto ou uso ilícito);
- *Água não faturada*: volume de água correspondente à diferença entre os totais anuais da água que entra no sistema e do consumo autorizado faturado. A água não faturada inclui não só as perdas reais e aparentes, mas também o consumo autorizado não faturado;

- *Consumo faturado medido*: é o volume de água anual que gera receita para a companhia prestadora de serviços e corresponde ao somatório dos valores arrecadados nas contas de água emitidas. É composto pelo volume medido nos hidrômetros;
- *Consumo faturado não medido*: corresponde ao consumo estimado pelas companhias de abastecimento, relativo à economia onde não há hidrômetro, seja o consumidor de baixa renda ou não;
- *Consumo não faturado medido*: é o consumo destinado aos clientes que a empresa dispensa o pagamento da conta de água mais o consumo interno medido da companhia (por exemplo, lavagem de filtros da ETA);
- *Consumo não faturado não medido*: é o consumo destinado aos consumidores que a empresa dispensa o pagamento da conta de água e o volume não é medido (por exemplo, água para combate a incêndio, abastecimento de caminhões pipa, irrigação de praças etc.);
- *Uso não autorizado*: é o volume que não produz receita. Neste volume, incluem-se as ligações clandestinas, as fraudes etc;
- *Erros de medição*: é o volume decorrente do erro de medição dos contadores, que pode ser causado por falhas de fabricação, dimensionamento inadequado, instalação incorreta etc;
- *Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição*: é o volume de vazamentos que ocorre ao longo das adutoras e redes de distribuição;
- *Vazamentos e extravasamentos em reservatórios*: é o volume de vazamentos decorrentes do extravasamento de reservatórios;
- *Vazamentos em ramais prediais*: é o volume de vazamentos que ocorre entre o colar de tomada e o cavalete residencial.

O estudo desenvolvido por Silva *et al.* (2017) utilizou de indicadores aplicados aos sistemas de distribuição de água para auxiliar no seu diagnóstico e nas ações de gerenciamento. Nesse estudo, os indicadores hidráulicos e relacionados à energia podem relacionar o consumo de energia, o fluxo de entrada, as pressões e a demanda para identificar sistemas e ferramentas para minimizar os custos de energia e maximizar a confiabilidade hidráulica.

3.1.4. Importância econômica relacionada com as perdas

Segundo Galván (2011), os estudos e investigações relacionados com as perdas de água têm sido levados a diante, realizando diversas aplicações dos resultados obtidos, de modo que vários países já consideram o tema bastante relevante. Foi o caso da Inglaterra e País de Gales, que, desde 1998, por ordem do *Office of Water Services* (OFWAT), impôs às empresas de abastecimento de água que fosse realizado o cálculo do nível econômico das perdas, objetivando a redução das mesmas. Muitos métodos foram desenvolvidos para atingir esse objetivo, porém eles se restringem às características do sistema de abastecimento de água do Reino Unido e do País de Gales, dificultando sua utilização por outros países.

Como parte do trabalho feito pelo OFWAT, informa-se como é feito o cálculo do custo marginal da água, do custo marginal do controle das perdas e formas de determinar o nível econômico das perdas. Segundo Bezerra e Cheung (2013), este pode ser atingido quando o custo marginal do controle de perdas se iguala ao custo marginal da perda de água. Analogamente, a *International Water Association* (IWA) propõe metodologias para a determinação do custo relacionado às perdas de água, considerando o custo marginal de cada procedimento realizado comparado com seu benefício marginal (GALVÁN, 2011).

É notável que cada país desenvolva suas metodologias de cálculo de perdas de água, de acordo com as características distintas de seus sistemas de abastecimento de água. Isso é interessante devido ao fato de a pauta das perdas de água estar se tornando cada vez mais relevante, onde, como mencionado anteriormente, os indicadores de perdas são usados como forma de avaliação da eficiência dos sistemas de abastecimento de água. A tendência é de que esses índices de perdas se tornem cada vez mais relevantes, devido ao cenário hídrico atual do planeta, e a possível falta de recursos hídricos no futuro.

Conforme Galván (2011), as perdas de água trazem consigo diversos custos, que, se administrados de forma correta, podem ser diminuídos ou até mesmo evitados. Podem ser citados como exemplos os custos energéticos, sociais e ambientais, os custos relacionados com o tratamento da água, para manter sua boa qualidade na rede de distribuição, e os custos técnicos, como custos de manutenção e aplicação do sistema de abastecimento. O objetivo de avaliar os custos envolvidos com as perdas de água é encontrar uma maneira técnica e economicamente viável de reduzir tais perdas, melhorando a qualidade da rede de abastecimento e beneficiando os consumidores.

Para realizar o cálculo de reparo das redes urbanas de abastecimento de forma econômica, existem alguns fatores que devem ser considerados, como o custo da rede de abastecimento, o tipo de material utilizado, o ano de instalação e o histórico de manutenção dessa rede. Estes últimos são importantes, pois quanto mais envelhecida for a tubulação utilizada na rede, maior será o quantitativo de perdas ocorridas. À medida que a rede envelhece, sua deterioração aumenta, podendo comprometer o sistema, porque é preciso utilizar mais energia no bombeamento da água e mais produtos para o tratamento químico da mesma, acarretando no aumento do custo da distribuição da água (GALVÁN, 2011).

Os custos relacionados com as perdas de água se tornam cada vez mais relevantes no desenvolvimento de métodos para avaliar as maneiras mais eficientes de reduzi-las. Devido a sua importância econômica, mais investimentos são feitos em estudos nessa área, objetivando a diminuição dos custos marginais das perdas de água, melhorando a saúde financeira da empresa prestadora de serviços, além de beneficiar os consumidores dessa água. Analisar cada um dos fatores envolvidos nesse custo auxilia no reparo das redes de distribuição, aumentando a qualidade do sistema de abastecimento.

3.2. Gestão das perdas de água

Segundo Alegre *et al.* (2005), os sistemas de abastecimento possuem um papel muito importante na distribuição de água potável para a população. Para que esse objetivo seja atingido, é preciso que esse sistema seja gerido de forma eficiente, otimizando os recursos disponíveis na produção do serviço, e eficaz, de modo que todos os objetivos estabelecidos sejam cumpridos. Com isso, é possível obter-se um sistema que disponibilize de modo contínuo água de qualidade, com pressão adequada e custo mínimo, para a população.

O gerenciamento das perdas de água são todas as atividades exercidas com o objetivo de reduzir as perdas de água em sistemas de abastecimento de água. Essa gestão controla tais perdas, com o intuito de reduzir o volume de água perdido, diminuindo os custos de produção dessa água. É importante a qualificação de profissionais para gerir as perdas de água, devido a todos os benefícios que seu controle traz para as empresas concessionárias e para a população.

Conforme Galván (2011), a gestão de perdas de água é uma série de ações realizadas para enfrentar os efeitos das perdas de água, que traz prejuízos adicionais ao sistema de abastecimento de água. Os quatro pilares principais que sustentam o gerenciamento dessas perdas são:

- Controle ativo e passivo das perdas, que seria a localização e reparação de perdas evidentes, ou a prevenção das mesmas;
- A gestão da pressão, que seria reduzir o fluxo de perdas indetectáveis sem modificar a infraestrutura, realizando o controle das pressões do sistema;
- A velocidade e qualidade dos reparos, pois realizando reparos rápidos e eficazes tem como consequência a diminuição das perdas;
- E a gestão de infraestrutura, que, apesar de ter custo elevado, visa obter o abastecimento das zonas distintas por apenas uma instalação de medição.

3.2.1. Gestão de pressão

Conforme Galván (2011), a pressão a qual a rede opera influencia diretamente no fluxo de perdas, pois sua variação produz uma mudança na velocidade da perda. A melhor forma de reduzir o fluxo de tais perdas é realizando uma gestão eficiente da pressão na tubulação. Lambert (2002) diz que alguns dos principais benefícios ganhos pela gestão da pressão são o aumento da vida útil da infraestrutura do sistema, a redução do aparecimento de novas falhas na tubulação e em seus acessórios, a redução da taxa do fluxo de perdas existentes e a redução do consumo de alguns componentes relacionados com a pressão da rede.

O gerenciamento da pressão dos sistemas de abastecimento de água são ações realizadas com o intuito de garantir que as tubulações do sistema estejam trabalhando dentro das pressões adequadas, estabelecidas no dimensionamento do sistema. Essa gestão é importante para reduzir as perdas de água no sistema, ocasionadas por rupturas e vazamentos nas adutoras e nas redes de distribuição de água.

Conforme Bezerra e Cheung (2013), o controle da pressão é uma ação eficaz para reduzir as perdas de água em sistemas de abastecimento de água, tendo em vista que quanto maior for a pressão do sistema, maior será o fluxo de vazamento de água. Ainda segundo os autores, a gestão da pressão visa minimizar a pressão do sistema sem deixar de atender a demanda dos consumidores. É importante que o sistema trabalhe acima das pressões mínimas estabelecidas, mas nunca ultrapassando as pressões máximas admitidas no sistema.

A pressão nas redes de abastecimento é um fator fundamental para determinar o volume de perdas e a quantidade de fissuras nas tubulações do sistema. Apesar da gestão da pressão não ser uma prioridade quando se fala em gestão de perdas de água, ela pode ser uma

ação muito eficaz para a redução das perdas, se efetuada de forma correta, com um custo-benefício muito favorável para a empresa concessionária.

Diversos trabalhos foram publicados na área de recursos hídricos sobre a gestão de pressão nas tubulações e adutoras de sistemas de abastecimento. Esses trabalhos apresentaram novas metodologias, por meio da análise de casos específicos, com o objetivo de estudar as formas mais eficientes de gerenciar a pressão do sistema (PAGE, ABU-MAHFOUZ e YOYO, 2016; VICENTE *et al.*, 2015; PARRA *et al.*, 2017; MONSEF *et al.*, 2018; PAGE, ABU-MAHFOUZ e MOTHETHA, 2017).

Page, Abu-Mahfouz e Yoyo (2016) estudaram o controle remoto em tempo real, que é atualmente a forma mais avançada de gerenciamento de pressão. Nesse estudo, os parâmetros que descrevem as válvulas de controle de pressão (ou bombas) são alterados em tempo real para fornecer a pressão mais ideal no sistema de distribuição de água, conforme os níveis de demanda e reservatório mudam. Vicente *et al.* (2015) forneceram uma análise abrangente das questões mais inovadoras relacionadas à gestão de pressão. A metodologia proposta por eles baseia-se em uma comparação de estudo de caso de conceitos qualitativos que envolvem vários trabalhos publicados.

Además, Parra *et al.* (2017) propuseram um sistema composto por uma válvula redutora de pressão e uma bomba como turbina (PAT) em combinação com o gerenciamento inteligente de pressão e seu desempenho foi analisado experimentalmente. Monsef *et al.* (2018) realizaram um estudo, onde um código de otimização foi proposto para estimar a demanda instantânea de água com base nas pressões de rede relatadas. Page, Abu-Mahfouz e Mothetha (2017) investigaram a perspectiva de incorporar a teoria da hidráulica em um controlador, com o objetivo de melhorar os controladores genéricos, que definem a pressão em locais remotos do consumidor.

3.2.2. Gestão da infraestrutura

Uma das alternativas viáveis na gestão da infraestrutura do sistema de abastecimento seria realizar a manutenção das redes de distribuição de água. Se todo ano fosse realizada a reparação de uma parte da rede, em determinados anos, toda a rede estaria renovada. No entanto, o problema é a necessidade de saber quais as seções da rede que, se reparadas, acarretam em maiores benefícios para o sistema. Com esse intuito, algumas empresas realizam estudos para determinar os seguimentos da rede que tem prioridade de reparo, e, assim, conseguem criar um plano de reparo anual da tubulação (GALVÁN, 2011).

Ainda segundo Galván (2011), realizar os reparos necessários na infraestrutura depende do tamanho do projeto, dos recursos disponíveis e da capacidade financeira da empresa. Alguns dos benefícios obtidos com a gestão da infraestrutura da rede é o aumento da vida útil do sistema e a redução das perdas de água. Todas as ações executadas para essa gestão têm como objetivo oferecer um serviço de distribuição de água de qualidade para a população. Para isso, é preciso que se trabalhe com materiais de boa qualidade, que as operações sejam realizadas adequadamente por profissionais qualificados, que os resíduos das manutenções sejam administrados corretamente, entre outros.

A gestão da infraestrutura é uma série de ações que visa a reparação e renovação da infraestrutura do sistema de abastecimento de água, e é uma alternativa eficiente na gestão das perdas de água. Reabilitar as tubulações do sistema de abastecimento de água é fundamental para oferecer um serviço de qualidade para os consumidores, visto que uma água de qualidade é fundamental para o dia-a-dia da população. Além disso, reduzir as perdas de água do sistema traz uma redução do custo de operação do sistema, por necessitar de menos energia para o transporte da água e menor quantidade de produtos químicos utilizados para o tratamento dessa água.

3.2.3. Velocidade e qualidade dos reparos

Segundo Bezerra e Cheung (2013), a velocidade e qualidade dos reparos feitos nas redes de abastecimento influenciam diretamente no volume de água perdido. Quando um vazamento não detectado ocorre, muito volume de água é perdido, devido ao longo tempo que leva para detectar tais perdas e repará-las. Logo, é fundamental que reparos rápidos sejam feitos nas tubulações, para diminuir o número de perdas reais. Os autores ainda afirmam que é preciso conscientizar a população com relação às consequências dessas perdas, mantendo sempre uma boa comunicação entre ela e as empresas prestadoras de serviço. A população tem um papel muito importante nessa questão, porque ela ser responsável por informar a ocorrência de vazamentos e fraudes na rede.

Reduzir o tempo de reparo das perdas tem forte impacto na redução do volume anual de perdas de água. Sabe-se que realizar os consertos das tubulações de forma mais rápida gera um custo adicional à empresa prestadora de serviços. Assim, é preciso encontrar um ponto ótimo, onde o custo de reparo seja apropriado e maiores perdas sejam evitadas. Além disso, deve-se dar atenção à qualidade dos reparos, estes sendo feitos de maneira adequada e utilizando-se materiais de qualidade (GALVÁN, 2011).

A velocidade de reparação da rede de abastecimento é uma ação eficiente em reduzir as perdas de água. Sua importância é bem intuitiva, pelo fato de que quanto mais rápido os reparos das perdas localizadas forem feitos, menos água será perdida no sistema. Entretanto, manter um padrão de qualidade desses reparos é fundamental, porque não adianta serem feitos reparos em tempos mínimos, se eles não forem feitos de forma adequada, podendo acarretar em novas perdas de água na tubulação.

3.2.4. Controle ativo das perdas

Conforme Galván (2011), o controle ativo de perdas são ações realizadas em toda a rede de distribuição de água, e nas zonas hidrométricas individuais, com o objetivo de localizar e reparar perdas de água detectadas, mas não reportadas. Para esse controle ser feito, é preciso ter em mente a existência da perda, sua localização e a execução do reparo. Os principais métodos utilizados são: inspeções regulares de todos os acessórios e equipamentos utilizados ao longo de todas as tubulações; medições do fluxo de água que entra diariamente ou mensalmente; medições dos fluxos noturnos; utilização de detectores sonoros de perdas; entre outros. Cada um desses métodos tem suas limitações e custos, seu uso sendo limitado de acordo com as dimensões e características do sistema de abastecimento.

Por outro lado, o controle passivo de perdas de água consiste na reparação de perdas detectadas que são reportadas, enquanto que o controle ativo também consiste na reparação de perdas não reportadas. O custo de produção da água é um fator determinante para a implantação de um plano de gestão de perdas. Se o sistema possuir nível de água abundante e custos mínimos de produção, a empresa responsável pode limitar-se a fazer o controle passivo das perdas, reparando apenas as perdas visíveis (GALVÁN, 2011).

O controle ativo de perdas de água consiste em procedimentos feitos a fim de lidar com as perdas de água localizadas e não reportadas, consertando, por exemplo, os vazamentos que causam tais perdas de água, e, assim, reabilitando o sistema de abastecimento. O controle ativo de perdas precisa fazer parte do plano de gerenciamento de perdas, por estar relacionado diretamente com a reabilitação das tubulações e da rede de distribuição.

Segundo Bezerra e Cheung (2013), o controle ativo de perdas são planos de ação efetuados para localizar vazamentos invisíveis e aperfeiçoar os consertos realizados, a fim de diminuir o índice de perdas do sistema e melhorar sua infraestrutura. Para que esse controle seja realizado, é fundamental que haja um monitoramento periódico da rede, sendo possível detectar as perdas que não foram informadas pela população. As empresas que não realizam a

gestão de ativos no sistema possuem elevados índices de perdas reais, pelo fato de a maior parte do volume de perdas físicas de água ser proveniente de vazamentos ocultos no sistema.

O controle ativo de perdas é feito com o intuito de diminuir as perdas invisíveis de água do sistema, que são detectadas, por exemplo, por meio do monitoramento do fluxo de água que circula na rede, podendo ser feita a reparação dos vazamentos que ocasionam essas perdas, entre outros procedimentos. Portanto, a gestão de ativos é importante para reduzir o índice de perdas do sistema, ocasionando numa diminuição dos custos de produção e distribuição de água, fornecendo água com melhor qualidade para a população.

3.2.5. Estabelecimento de um objetivo para a gestão de perdas

Objetivos a curto e longo prazo devem ser estabelecidos para a gestão de perdas de água. Segundo Galván (2011), os métodos de redução de perdas visam diminuir os custos do controle ativo de perdas e o custo marginal da água, comparado com o custo marginal das perdas. Para isso, é necessário estabelecer uma zona de estudo para determinar o nível das perdas, avaliar sua localização e os custos da reparação delas, bem como estimar os custos da futura oferta e demanda. Por fim, analisam-se as alternativas que podem ser tomadas como ações de política de redução, considerando a utilização de novas tecnologias, por exemplo.

Antes que qualquer ação possa ser tomada para diminuir as perdas de água em sistemas de abastecimento, é necessário ser criadas estratégias para a gestão das perdas. Alguns fatores devem ser considerados, como as características da rede de distribuição, a veracidade das informações que serão usadas, bem como as prioridades que se tenha. Por esse motivo, é preciso ser feita uma investigação precisa com base no gerenciamento das perdas de água, considerando as alternativas mais adequadas, de acordo com os critérios analisados, e visando sempre atingir o objetivo final estabelecido.

Conforme Sá (2007 *apud* CONEJO, LOPES e MARCKA, 1999), para ser feito o controle e implantação da gestão de perdas de água, recomendam-se alguns requisitos básicos. Entre eles, a subdivisão do sistema, facilitando a identificação das perdas e a escolha das melhores ações preventivas, o monitoramento das perdas durante todo o sistema, a setorização e micromedição do sistema de distribuição, o cadastro técnico contendo informações básicas sobre o sistema de abastecimento e o cadastro dos usuários da rede. Além disso, como já foi mencionado anteriormente, é importante estabelecer um plano de ação para a redução das perdas de água, por meio de ações básicas e ações para redução de perdas reais, aparentes e de desperdícios de água.

O planejamento de ações para a gestão de perdas de água é crucial para que tais ações revertam em resultados positivos. Considerar todos os fatores e requisitos recomendados anteriormente ajuda no momento de estabelecer os melhores critérios a serem tomados, visando sempre escolher as alternativas tecnicamente mais apropriadas e que gerem maiores benefícios econômicos para as empresas concessionárias e para os usuários da rede.

3.3. Externalidades das perdas

Conforme Galván (2011), há muitos custos relacionados com a gestão das perdas de água, entre eles, custos técnicos, energéticos e custos externos ou externalidades, que são custos ambientais, sociais e relacionados com a emissão de CO₂. Pode-se definir como externalidades relacionadas com as perdas de água como sendo as consequências das ações realizadas com base nas decisões tomadas pelos gestores das companhias prestadoras de serviços, que se convertem em impactos sociais, ambientais e emissões de CO₂.

Todas as decisões tomadas pelos gestores das empresas concessionárias se convertem em ações feitas para reduzir as perdas de água nos sistemas de abastecimento. Tais ações podem gerar impactos, previstos ou não, pela empresa, que podem ser impactos positivos, gerando benefícios externos, ou impactos negativos, gerando custos externos. O estudo das externalidades é muito útil para prever e saber lidar com as consequências das perdas de água.

Galván (2011) classifica as externalidades de acordo com o tipo de impacto que elas trazem para a sociedade. Existem as externalidades relacionadas com as perdas de água, que seriam, por exemplo, a emissão de carbono e a energia gasta para bombear um maior volume para compensar a água perdida no sistema, bem como o consumo de energia e combustível gasto com os equipamentos usados na manutenção e no tratamento da água do sistema. Existem as externalidades relativas à gestão das perdas, como o controle ativo das perdas, a sua reparação e a gestão da pressão na rede.

Além dos anteriormente citados, existem as externalidades que causam impactos sociais, como o atraso, desvio ou interrupção do tráfego de veículos em determinada via, as interrupções de serviços em locais públicos, a poluição sonora e prejuízo aos usuários do comércio e os custos causados por inundações. Essas externalidades são causadas pelos trabalhos realizados para reparar as perdas detectadas e renovar a infraestrutura danificada. (GALVÁN, 2011).

Pode-se citar como exemplos de externalidades ambientais a pesca recreativa e comercial, a navegação comercial e as atividades recreativas locais. Além disso, existe a emissão de CO₂, que é uma externalidade tratada separadamente das demais, devido à sua relevância no cenário ambiental, por causar grande degradação ao meio ambiente.

3.4. Modelos multicritérios de apoio à decisão

Os métodos multicritérios surgiram nos anos 60 como uma ferramenta de apoio à decisão. Sua aplicação é feita na análise comparativa de ações para serem implementadas à uma situação complexa, com base em diversos critérios estabelecidos. Esses modelos ajudam aos decisores a integrar as diversas opções em ações para determinado problema, por meio da reflexão da opinião de diferentes especialistas no assunto. Os resultados são apresentados, em geral, como orientações de decisão e recomendações para futuras ações.

Gomes, Araya e Carignano (2004) citam que as principais vantagens da utilização dos métodos multicritérios de apoio à decisão, como uma forma de combinar e estruturar as diferentes análises de um problema, são as seguintes:

- Os métodos permitem uma abordagem mais abrangente e realista dos problemas decisórios complexos, pela modelagem de uma maior diversidade de fatores, que se encontram envolvidos no processo decisório, tanto para critérios qualitativos quanto para quantitativos;
- A utilização do método facilita a comunicação e integração entre os envolvidos no processo de decisão;
- As preferências do agente de decisão ficam claramente explícitas utilizando-se o método, permitindo maior transparência do processo decisório, e aumentando a sua credibilidade;
- A utilização do método proporciona maior compreensão das várias dimensões do problema. Assim, o modelo inicial pode ser melhorado, em função das discussões geradas durante o processo de tomada de decisão;
- A utilização do método permite a abordagem de problemas considerados complexos, agregando valor à informação.

Conforme Almeida e Costa (2003), o apoio multicritério é um conjunto de métodos que auxiliam na resolução de um problema, onde o objetivo deste é avaliado segundo múltiplos critérios, geralmente conflitantes. Assim, os métodos utilizam uma abordagem de

superação, com o intuito de ordenar as melhores alternativas consideradas dentro de um conjunto finito de alternativas. Os métodos de superação também são chamados de: sobreclassificação, prevalência ou subordinação. Esses métodos levam em conta que pequenas diferenças entre as avaliações das alternativas podem ser insignificantes.

O método *Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*, ou PROMETHEE, foi escolhido, porque é um método de fácil entendimento, de forma que seus conceitos e parâmetros utilizados são de rápido entendimento pelo decisor. Esse método foi escolhido, pois se objetivou a hierarquização das ações a serem tomadas para a redução das perdas de água em sistemas de distribuição de água.

3.4.1 Método PROMETHEE

O método PROMETHEE, proposto por Brans e Vincke (1985), estabelece uma relação de hierarquização entre as soluções adotadas, analisando-se os critérios estabelecidos pelo agente decisor. Segundo Vincke (1992), durante seu processo de análise, o objetivo é decomposto em critérios, onde se comparam, de duas em duas, as alternativas no último nível de decomposição, seguindo as preferências estabelecidas pelo tomador de decisão.

Conforme Vincke (1992), para obter-se essa relação de hierarquia entre as alternativas, é necessário admitir um peso w_j para cada um dos critérios escolhidos, onde, segundo Brans e Mareschal (1986), se dois critérios possuem pesos iguais, significa que estes têm a mesma importância para o tomador de decisão. O PROMETHEE não oferece orientações de como os pesos devem ser determinados, deixando a critério do decisor. Os pesos podem ser atribuídos de várias maneiras, sendo determinados pela preferência do decisor, com base em seus conhecimentos prévios sobre o assunto. Logo, não há como garantir qual das atribuições será a mais precisa.

Com base nos conceitos propostos por Brans e Mareschal (2002), para se construir a relação hierárquica entre as alternativas, utilizam-se os seguintes conceitos:

- w_j é o peso do critério j , onde indica se um critério tem maior importância do que outro;
- $g_j(a)$ é o desempenho da alternativa comparada no critério j , atribuído de acordo com a escolha que o decisor achar mais apropriada;

- q é um limite de indiferença, que representa um valor de indiferença entre duas alternativas, onde considera o maior valor de $[g_j(a) - g_j(b)]$, abaixo do qual existe uma indiferença;
- p é um limite de preferência, que representa um valor de preferência entre duas alternativas, onde considera o menor valor de $[g_j(a) - g_j(b)]$, acima do qual existe uma preferência;
- $F_j(a,b)$ é a função de preferência, representando a preferência do agente decisor a duas alternativas, sendo elas comparadas em relação a um determinado critério. Seu valor varia entre 0 e 1;

Segundo Brans e Mareschal (1986), este método destina-se a resolver problemas multicritérios do tipo descrito na Equação 1.

$$\text{Max}\{g_1(a), g_2(a), \dots, g_k(a) \mid a \in A\} \quad (1)$$

Onde A – é um conjunto finito n de alternativas; e $g_j(\cdot)$, para j variando de 1 até k critérios – são as avaliações dos critérios sobre A . Estas variações devem ser números reais. Cada critério pode ter suas unidades próprias e o caso geral considera a possibilidade de critérios a serem minimizados e critérios a serem maximizados, no sentido do que se entende como otimização.

As funções preferência, $n \times k$ avaliações, são representadas na Tabela 1. Segundo Almeida e Costa (2002), a função preferência representa o comportamento ou atitude do decisor frente às diferenças entre um par de alternativas, segundo determinado critério. O decisor possui certo grau de liberdade com relação aos critérios considerados e aos limites de preferência e indiferença que ele estabelece.

Cada alternativa deve especificar, com relação a cada critério, uma função preferência ou critério generalizado, assumindo um valor de 0 a 1, com o objetivo de representar a preferência do decisor diante das diferenças relativas a cada critério estabelecido para a avaliação, bem como para eliminar o efeito de possíveis escalas ligadas às unidades em que os critérios são expressos.

Tabela 1 – Avaliação de n alternativas para k critérios

	$g_1(\cdot)$	$g_2(\cdot)$...	$g_k(\cdot)$
a_1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$...	$g_k(a_1)$
a_2	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$...	$g_k(a_2)$
...
a_n	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$...	$g_k(a_n)$

Fonte: Autor

Considerando um critério j qualquer, as relações entre um par de determinadas alternativas a e b podem ser enquadradas em uma relação de dominância natural (I, P), com I significando indiferença entre as alternativas e P significando preferência entre as alternativas, como pode ser visto na Equação 2:

$$\forall a, b \in A: \begin{cases} g_j(a) > g_j(b) \leftrightarrow aP_jb \\ g_j(a) = g_j(b) \leftrightarrow aI_jb \end{cases} \quad (2)$$

A função preferência é representada pela Equação 3:

$$F_j(a, b) = P_j[d_j(a, b)] = P_j[g_j(a) - g_j(b)] \quad (3)$$

A função preferência, vista na Equação 4, representa o grau de preferência da alternativa a sobre a b em função de $d_j(a, b)$, que é a diferença entre os desempenhos das alternativas a e b no critério j :

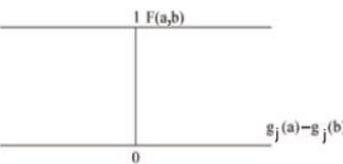
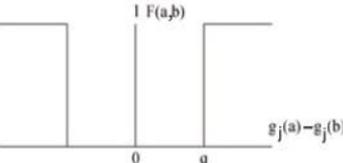
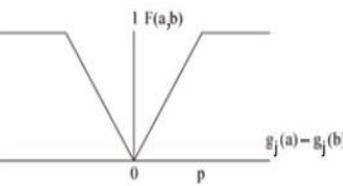
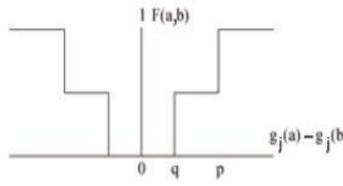
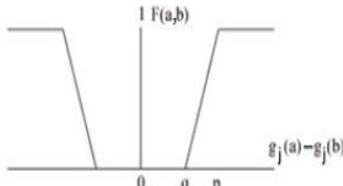
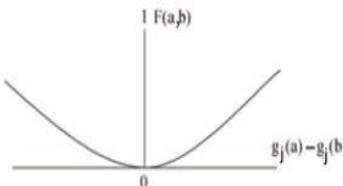
$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b) \quad (4)$$

Para $d_j(a, b) > 0$, tem-se que:

- Se $P_j(a, b) = 0$, não há preferência entre a e b ;
- Se $P_j(a, b) \approx 0$, há fraca preferência de a sobre b ;
- Se $P_j(a, b) \approx 1$, há forte preferência de a sobre b ;
- Se $P_j(a, b) = 1$, há total preferência de a sobre b .

É importante salientar que quando $d_j(a, b) < 0$, $P_j(a, b) = 0$, o que não significa que $P_j(a, b)$ não pode ser positivo. O Quadro 2 esquematiza os critérios gerais do PROMETHEE, com suas respectivas funções de referências (BRANS e MARESCHAL, 1986; ALMEIDA e COSTA, 2002).

Quadro 2 – Critérios gerais para o PROMETHEE

<p><i>I – Critério usual:</i> Não há parâmetro a ser definido</p>		$g_j(a) - g_j(b) > 0$ $g_j(a) - g_j(b) \leq 0$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = 0$
<p><i>II – Quase critério:</i> Define-se o parâmetro q (limite de indiferença)</p>		$g_j(a) - g_j(b) > q$ $g_j(a) - g_j(b) \leq q$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = 0$
<p><i>III – Limite de preferência:</i> Define-se o parâmetro p (limite de preferência)</p>		$g_j(a) - g_j(b) > p$ $g_j(a) - g_j(b) \leq p$ $g_j(a) - g_j(b) \leq 0$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = \frac{g_j(a) - g_j(b)}{p}$ $F(a,b) = 0$
<p><i>IV – Pseudocritério:</i> Definem-se os parâmetros q (limite de indiferença) e p (limite de preferência)</p>		$ g_j(a) - g_j(b) > p$ $q < g_j(a) - g_j(b) \leq p$ $ g_j(a) - g_j(b) \leq q$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = 1/2$ $F(a,b) = 0$
<p><i>V – Área de indiferença:</i> Definem-se os parâmetros q (limite de indiferença) e p (limite de preferência)</p>		$ g_j(a) - g_j(b) > p$ $q < g_j(a) - g_j(b) \leq p$ $ g_j(a) - g_j(b) \leq q$	$F(a,b) = 1$ $F(a,b) = \frac{ g_j(a) - g_j(b) - q}{p - q}$ $F(a,b) = 0$
<p><i>VI – Critério Gaussiano:</i> O desvio-padrão deve ser fixado</p>		$g_j(a) - g_j(b) > 0$ $g_j(a) - g_j(b) \leq 0$	<p>A preferência aumenta segundo uma distribuição normal</p> $F(a,b) = 0$

Fonte: Brans e Mareschal (1986); Almeida e Costa (2002)

Na literatura, seis implementações podem ser feitas pelo método PROMETHEE (BRANS e VINCKE, 1985; BRANS e MARESCHAL, 1986):

- PROMETHEE I: a interseção entre os fluxos estabelece uma pré-ordem parcial entre as alternativas;
- PROMETHEE II: a interseção entre os fluxos estabelece uma pré-ordem completa entre as alternativas, organizadas em ordem decrescente de fluxo líquido;
- PROMETHEE III: resolve os problemas por meio de tratamentos probabilísticos de fluxos, obtendo-se uma ordem por intervalos;

- PROMETHEE IV: destina-se a problemas de escolha e ordenação com número de alternativas infinito;
- PROMETHEE V: adotado após o estabelecimento de uma pré-ordem completa entre as alternativas, onde são inseridas restrições para as alternativas estabelecidas, com otimização inteira;
- PROMETHEE VI: adotado quando o decisor não consegue estabelecer valores fixos de pesos adequados, onde ao invés disso, atribui-se intervalos para os pesos.

Conforme Vincke (1992), após estabelecer o nível das preferências, obtêm-se o grau de hierarquização $\pi(a,b)$ para cada duas alternativas a e b comparadas. Este índice de preferência ponderada, que indica o percentual de preferência da alternativa a sobre b , levando-se em consideração os pesos de cada critério, é calculado por meio da Equação 5. Os pesos são determinados pelo decisor.

$$\pi(a,b) = \frac{\sum_{j=1}^n w_j F_j(a,b)}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (5)$$

A função $\pi(a,b)$ é a hierarquização da alternativa a sobre a b . Após esse cálculo, as alternativas são ordenadas da seguinte maneira:

- Ordem decrescente de $\Phi^+(a)$, que é chamado de fluxo de saída. Este representa o nível de preferência da alternativa a sobre as demais alternativas do conjunto A . Logo, quanto maior $\Phi^+(a)$, maior será a sua preferência sobre as demais alternativas. É obtido pela Equação 6:

$$\varphi^+(a) = \frac{\sum_{\substack{b=1 \\ b \neq a}}^n \pi(a,b)}{n-1} \quad (6)$$

- Ordem crescente de $\Phi^-(a)$, que é chamado de fluxo de entrada, é obtido pela Equação 7. Este representa o nível de preferência das demais alternativas do conjunto A sobre a alternativa a . Logo, quanto menor $\Phi^-(a)$, maior será a preferência da alternativa a sobre as demais alternativas.

$$\varphi^-(a) = \frac{\sum_{\substack{b=1 \\ b \neq a}}^n \pi(b,a)}{n-1} \quad (7)$$

- Fluxo líquido (Φ), que é o resultado da diferença entre o fluxo de saída (Φ^+) e o fluxo de entrada (Φ^-) da alternativa a , é obtido pela Equação 8:

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a) \quad (8)$$

A variável n é o número de alternativas do problema. A ordem final das alternativas é definida por:

- a é preferível de b se: $\Phi(a) > \Phi(b)$;
- a é indiferente de b se: $\Phi(a) = \Phi(b)$;

Onde: a e b são alternativas de um conjunto A .

Diversos autores publicaram artigos sobre a aplicação do método PROMETHEE. Os pesquisadores utilizaram essa metodologia em diversas áreas, como na área de gás e petróleo, e na área de saneamento, além da área de recursos hídricos, com o objetivo de tomar a decisão de qual alternativa é a mais adequada, de acordo com a avaliação dos critérios apresentados em cada caso. (ARAÚJO e ALMEIDA, 2009; LIMA *et al.*, 2013; MORAIS e ALMEIDA, 2006; EGITO, FONTANA e MORAIS, 2015).

Araújo e Almeida (2009) utilizaram o método PHOMETHEE II para analisar a seleção de investimentos em petróleo e gás no Nordeste do Brasil, por esse método possuir simples aplicação e ser de fácil entendimento. A aplicação do método, que teve como base os dados fornecidos de 2008 a 2012 do Planejamento Estratégico da Petrobrás, permitiu a obtenção de uma ordem completa das alternativas consideradas, levando em conta as variáveis estratégicas e operacionais no processo de decisão. Por meio do estudo, pôde-se concluir que os resultados foram compatíveis com a proposta dos autores em oferecer um ranking completo das alternativas consideradas, além de recomendarem o aperfeiçoamento dessa metodologia, para que ela possa ser aplicada em estudos mais complexos.

Lima *et al.* (2013) fizeram uma análise das alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na região Nordeste do Brasil utilizando um modelo de apoio a decisão, no caso, o método PROMETHEE II, em função de sua relevância. O estudo teve como objetivo propor alternativas de tratamento dos resíduos sólidos urbanos em forma de arranjos tecnológicos e obter uma ordenação de tais alternativas, considerando critérios econômicos, sociais e ambientais. A utilização do método obteve ótimos resultados quanto a indicar os arranjos tecnológicos mais relevantes para o tratamento em questão, além de trazer a possibilidade do uso desse método nas demais regiões brasileiras.

Na área de recursos hídricos, Morais e Almeida (2006) usaram um modelo de decisão em grupo para o gerenciamento de perdas de água, empregando o método PROMETHEE II. O método foi aplicado com base em critérios financeiros, técnicos, sociais e ambientais, definidos por quatro decisores, a fim de obter uma nova postura frente a esse processo decisório. Por meio do estudo, foi possível ilustrar bem a metodologia aplicada, observando que outros métodos poderiam ser utilizados para essa análise, possivelmente obtendo-se resultados diferentes, dependendo das características do sistema que está sendo considerado.

Egito, Fontana e Morais (2015) utilizaram uma abordagem multicriterial na área de recursos hídricos, onde selecionaram as alternativas de conservação de água no meio urbano, por meio do método PROMETHEE V. O estudo buscava a seleção das melhores alternativas que promovessem a conservação e o uso eficiente da água em centros urbanos, levando em consideração os critérios de preferência do decisor. Os resultados encontrados evidenciaram a eficácia da aplicação do método PROMETHEE em problemas de gerenciamento de recursos hídricos. Os autores também destacaram a simplicidade da aplicação e entendimento do método e a coerência dos resultados.

4. METODOLOGIA

A primeira etapa do trabalho é a fase de estruturação do problema proposto, que se objetivou em avaliar a viabilidade da aplicação de alternativas no gerenciamento de perdas de água em sistemas de abastecimento de água de municípios de médio porte de Pernambuco, por meio de um modelo multicritério de apoio à decisão.

As alternativas avaliadas, que foram selecionadas a partir de um acervo de opções disponibilizadas pela IWA, são as seguintes:

- Controle ativo de perdas: o controle ativo é uma série de ações efetuadas com o objetivo de localizar e reparar vazamentos não reportados à concessionária, melhorando a infraestrutura dos sistemas. Os principais métodos utilizados são: inspeções regulares de todos os acessórios e equipamentos utilizados ao longo de todas as tubulações; medições do fluxo de água que entra diariamente ou mensalmente e utilização de equipamentos acústicos para detectar vazamentos não visíveis;
- Gestão da infraestrutura: a gestão da infraestrutura visa a reabilitação e renovação da infraestrutura do sistema de abastecimento de água. Essa alternativa é fundamental quando a rede de distribuição é composta por tubulações antigas, visto que isso ocasiona perdas excessivas no sistema;
- Gestão da pressão: essa alternativa possui o intuito de garantir que o sistema opere com pressões adequadas. O controle de pressão facilita a regularização das pressões nas redes de distribuição. Um exemplo seria o uso de válvulas redutoras de pressão para o controle de setores da rede.

Para analisar as alternativas, foram identificados e estabelecidos os seguintes critérios:

- Social, onde os subcritérios estabelecidos foram o tempo de implementação e os danos causados à infraestrutura existente;
- Técnico, onde os subcritérios estabelecidos foram a viabilidade da implantação e complexidade da implantação;
- Ambiental, onde os subcritérios estabelecidos foram a redução do consumo de água e redução das perdas de água; e
- Econômico (onde os subcritérios estabelecidos foram o custo de implantação e tempo de retorno dos investimentos).

Com o objetivo definido, e as alternativas e os critérios estabelecidos, determinou-se a matriz de avaliação, que foi preenchida com a avaliação de uma alternativa de acordo com o seu desempenho, segundo determinado critério. Os pesos foram definidos com base na avaliação e ponderação de um grupo de especialistas na área de recursos hídricos e saneamento, selecionados com base em suas experiências nessas áreas, por meio de aplicação de questionário (vide Apêndice I).

A matriz representa o grau de importância e preferência dos especialistas em relação às alternativas e critérios estabelecidos, visto que a escolha de uma alternativa mais adequada para o problema em geral é subjetiva. É importante salientar que os valores finais obtidos na matriz de avaliação foram arredondados, a fim de simplificar a utilização do método de apoio à decisão.

Portanto, na matriz das funções preferência, atribui-se o valor 0 se a alternativa for indiferente ou pior do que a outra alternativa comparada, e atribui-se 1 caso o contrário ocorra. As alternativas são classificadas de acordo com a ordem decrescente do valor aferido de seus respectivos fluxos líquidos (Φ), que são obtidos após a aplicação do método PROMETHEE II.

Para hierarquizar as ações consideradas para o controle das perdas de água, escolheu-se a função II - Quase Critério do método PROMETHEE, onde define-se o parâmetro limite de indiferença: quando o valor da função preferência estiver abaixo do valor do limite de indiferença, haverá indiferença entre as alternativas consideradas; caso contrário, haverá preferência estrita pela alternativa melhor avaliada. Essa função foi escolhida pelo fato de ser a mais adequada para uma análise qualitativa da problemática.

Segundo Souza (2013), no método PROMETHEE II, para cada alternativa considerada, utiliza-se o fluxo de importância líquida (Φ) para obter uma pré-classificação completa considerando que P e I representam, respectivamente, preferência e indiferença. Desta forma, por meio do PROMETHEE II pode-se obter uma hierarquização adequada, evitando-se as ocorrências de alternativas incomparáveis.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o conjunto de alternativas estabelecidas, o próximo passo foi definir os pesos de cada critério. Para isso, tomou-se novamente a opinião do grupo de especialistas entrevistados. A seguir, serão descritos os critérios definidos, seus subcritérios e seus respectivos pesos, atribuídos com base nas entrevistas com esses especialistas:

- Social: representa o reflexo da implementação da alternativa dentro da sociedade ao qual será implementada. Os subcritérios adotados para esse critério são o tempo de implementação da alternativa e os possíveis danos causados à infraestrutura existente no local. O peso atribuído a esse critério foi 0,30;
- Técnico: visa analisar o desempenho técnico da alternativa. Os subcritérios adotados para esse critério são a viabilidade da implantação da alternativa e complexidade de sua implantação. O peso atribuído a esse critério foi 0,20;
- Ambiental: julga as influências e os impactos da implementação das alternativas ao meio ambiente, pela diminuição da água perdida irracionalmente. Os subcritérios adotados para esse critério são a redução do consumo de água e a redução das perdas de água. O peso atribuído a esse critério foi 0,25;
- Econômico: considera o custo da implantação das alternativas e avalia se esse investimento é atrativo para as empresas. Os subcritérios adotados para esse critério são o custo de implantação e o tempo de retorno dos investimentos. O peso atribuído a esse critério foi 0,25.

A matriz de avaliação (critérios *versus* alternativas) está representada na Tabela 2. Cada valor da matriz representa o desempenho de uma alternativa, com base em um critério. Vale ressaltar que a análise possui natureza qualitativa, devido ao fato de que os critérios têm caráter subjetivo, não possuindo uma escala definida para a comparação.

Portanto, as alternativas foram avaliadas segundo o critério mensurado de uma escala likert de comparações verbais, que se baseia em conceitos definidos de acordo com o nível de preferência, variando de 1 (pior desempenho) a 5 (melhor desempenho). Desta forma, é possível realizar a análise de forma simplificada e objetiva.

Tabela 2 – Matriz de avaliação

Alternativas	Subcritérios							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
A1	4	4	4	3	4	4	3	4
A2	3	2	3	3	4	5	2	4
A3	4	4	4	3	5	5	3	4

Fonte: Autor

Para facilitar a identificação das alternativas, dos critérios e subcritérios estabelecidos, foi feita uma legenda auxiliar, que pode ser vista na Tabela 3.

Tabela 3 – Identificação das alternativas, critérios e subcritérios

Alternativas	-	A1	Controle ativo de perdas
		A2	Gestão da infraestrutura
		A3	Gestão da pressão
Critérios e Subcritérios	Social	C1	Tempo de implementação
		C2	Danos à infraestrutura existente
	Técnico	C3	Viabilidade de implantação
		C4	Complexidade de implantação
	Ambiental	C5	Redução do consumo de água
		C6	Redução das perdas de água
	Econômico	C7	Custo de implementação
		C8	Tempo de retorno dos investimentos

Fonte: Autor

Uma matriz de funções preferência foi definida para cada critério, onde foi comparada a preferência de duas em duas alternativas, determinando uma hierarquia entre as alternativas estabelecidas, segundo um determinado subcritério. Para a montagem dessas matrizes, calculou-se o valor de $d_j(a,b)$, que é a diferença entre os desempenhos das alternativas a e b em um determinado critério j .

Feito isso, comparou-se o valor obtido com o valor do limite de indiferença q , que representa um valor de indiferença entre duas alternativas. Se a diferença entre as avaliações das alternativas $d_j(a,b)$ for maior que o valor de q , existe uma preferência da alternativa a sobre a b . Para o problema em questão, o valor atribuído ao limite de indiferença q foi 0,9. As matrizes das funções preferência dos subcritérios considerados são representadas nas tabelas a seguir.

No subcritério C1 (tempo de implementação), do critério social, as alternativas A1 e A3 obtiveram bons desempenhos, enquanto que a alternativa A2 obteve um desempenho

médio. Consequentemente, as alternativas A1 e A3 são indiferentes entre si, e possuem preferência sobre a alternativa A2, nesse subcritério. Isso ocorre pelo fato de que o tempo que se leva para executar todas as ações e equipamentos necessários para implementar o controle ativo de perdas e a gestão da pressão ser menor do que o tempo necessário para restaurar toda a infraestrutura da rede de distribuição. A matriz das funções preferência do subcritério “tempo de implementação”, é representada na Tabela 4.

Tabela 4 – Matriz de funções preferência do subcritério C1 (tempo de implementação)

	A1	A2	A3
A1	-	1	0
A2	0	-	0
A3	0	1	-

Fonte: Autor

No subcritério C2 (danos à infraestrutura existente), do critério social, as alternativas A1 e A3 obtiveram bons desempenhos, enquanto que a alternativa A2 obteve um desempenho ruim. Consequentemente, as alternativas A1 e A3 são indiferentes entre si, e possuem preferência sobre a alternativa A2, nesse subcritério. A matriz das funções preferência do subcritério “danos à infraestrutura existente” é representada na Tabela 5.

Os equipamentos utilizados para o controle ativo das perdas e a gestão da pressão da rede de distribuição não causam tantos danos à infraestrutura existente no local. Entretanto, a reparação da rede de distribuição pela gestão de sua infraestrutura causa muitos danos ao local onde está instalada, além dos transtornos causados à população local.

Tabela 5 – Matriz de funções preferência do subcritério C2 (danos à infraestrutura)

	A1	A2	A3
A1	-	1	0
A2	0	-	0
A3	0	1	-

Fonte: Autor

No subcritério C3 (viabilidade de implantação), do critério técnico, as alternativas A1 e A3 obtiveram bons desempenhos, enquanto que a alternativa A2 obteve um desempenho médio. Consequentemente, as alternativas A1 e A3 são indiferentes entre si, e possuem preferência sobre a alternativa A2, nesse subcritério. A matriz das funções preferência do subcritério “viabilidade de implantação” é representada na Tabela 6.

O controle ativo de perdas e a gestão da pressão são alternativas mais viáveis para a gestão das perdas, pelo fato de serem ações que utilizam equipamentos mais fáceis de serem manejados e implementados, como os sensores sonoros (controle ativo de perdas) e as válvulas de retenção (gestão da pressão) instalados em pontos da rede. Diferentemente das outras alternativas, a gestão da infraestrutura é menos viável nesse subcritério, por envolver maquinário pesado para sua implementação.

Tabela 6 – Matriz de funções preferência do subcritério C3 (viabilidade de implantação)

	A1	A2	A3
A1	-	1	0
A2	0	-	0
A3	0	1	-

Fonte: Autor

No subcritério C4 (complexidade de implantação), do critério técnico, as três alternativas obtiveram desempenhos médios. Consequentemente, as alternativas são indiferentes entre si. Sendo assim, nenhuma delas possui preferência sobre a outra, nesse subcritério. Isso significa que as três alternativas de gestão de perdas de água possuem uma certa complexidade para serem implantadas. A matriz das funções preferência do subcritério “complexidade de implantação” é representada na Tabela 7.

Tabela 7 – Matriz de funções preferência do subcritério C4 (complexidade de implantação)

	A1	A2	A3
A1	-	0	0
A2	0	-	0
A3	0	0	-

Fonte: Autor

No subcritério C5 (redução do consumo de água), do critério ambiental, as alternativas A1 e A2 obtiveram bons desempenhos, enquanto que a alternativa A3 obteve um ótimo desempenho. Consequentemente, as alternativas A1 e A2 são indiferentes entre si, e a alternativa A2 possui preferência sobre as demais, nesse subcritério.

A matriz das funções preferência do subcritério “redução do consumo de água”, é representada na Tabela 8. A redução do consumo de água causada pelo controle ativo de perdas e pela gestão da infraestrutura é notável, mas não tão eficientes quanto a redução causada pela gestão da pressão, como pode ser analisado pela opinião dos especialistas.

Tabela 8 – Matriz de funções preferência do subcritério C5 (redução do consumo de água)

	A1	A2	A3
A1	-	0	0
A2	0	-	0
A3	1	1	-

Fonte: Autor

No subcritério C6 (redução das perdas de água), do critério ambiental, as alternativas A2 e A3 obtiveram ótimos desempenhos, enquanto que a alternativa A1 obteve um desempenho bom. Conseqüentemente, as alternativas A2 e A3 são indiferentes entre si, e possuem preferência sobre a alternativa A1, nesse subcritério. A matriz das funções preferência do subcritério “redução das perdas de água”, é representada na Tabela 9.

A redução das perdas de água causada pelo controle ativo de perdas é eminente, mas a redução causada pela gestão da infraestrutura e pela gestão da pressão é ainda maior. Muita água é perdida por meio de vazamentos na rede de distribuição, causados pelo estado estrutural dela. Quando a rede é restaurada, evita-se a perda de toda essa água.

Com relação a gestão da pressão, segundo Silva *et al.* (2003), há uma correlação entre a redução da pressão e a redução das perdas em uma rede de distribuição. Quanto mais a redução da pressão, maior a redução das perdas, indicando que essa alternativa é excelente no subcritério analisado.

Tabela 9 – Matriz de funções preferência do subcritério C6 (redução das perdas de água)

	A1	A2	A3
A1	-	0	0
A2	1	-	0
A3	1	0	-

Fonte: Autor

No subcritério C7 (custo de implementação), do critério econômico, as alternativas A1 e A3 obtiveram desempenhos médios, enquanto que a alternativa A2 obteve um desempenho ruim. Conseqüentemente, as alternativas A1 e A3 são indiferentes entre si, e possuem preferência sobre a alternativa A2, nesse subcritério. A matriz das funções preferência do subcritério “custo de implementação”, é representada na Tabela 10.

Todas as alternativas tem um custo de implementação considerável. Com relação a gestão da pressão e ao controle ativo das perdas, esse custo se dá pelos equipamentos peculiares que são usados, e pela mão-de-obra especializada necessária para o use desses

equipamentos. No caso da gestão da infraestrutura, essa alternativa demanda um custo ainda maior, devido ao fato de haver um grande custo com o maquinário utilizado, e também com a reparação dos danos causados à infraestrutura existente no local, apesar da mão-de-obra necessária ser mais barata.

Tabela 10 – Matriz de funções preferência do subcritério C7 (custo de implementação)

	A1	A2	A3
A1	-	1	0
A2	0	-	0
A3	0	1	-

Fonte: Autor

No subcritério C8 (tempo de retorno dos investimentos), do critério econômico, as três alternativas obtiveram bons desempenhos. Conseqüentemente, as alternativas são indiferentes entre si. Sendo assim, nenhuma delas possui preferência sobre a outra, nesse subcritério. Isso significa que as três alternativas de gestão de perdas de água possuem um tempo de retorno dos investimentos parecidos. A matriz das funções preferência do subcritério “tempo de retorno dos investimentos” é representada na Tabela 11.

Tabela 11 – Matriz de funções preferência do subcritério C8 (tempo de retorno dos investimentos)

	A1	A2	A3
A1	-	0	0
A2	0	-	0
A3	0	0	-

Fonte: Autor

A matriz dos graus de sobreclassificação, representada pela Tabela 12, contém o grau de sobreclassificação entre todos os possíveis pares de alternativas comparadas. A soma dos pesos relativos obtidos dos critérios é igual a 1. Por exemplo, o cálculo do grau de sobreclassificação $\pi(A1, A2)$ da alternativa A1 sobre a alternativa A2, resultando num valor de 0,525.

Tabela 12 – Matriz dos graus de sobreclassificação

	A1	A2	A3
A1	-	0,525	0
A2	0,125	-	0
A3	0,25	0,65	-

Fonte: Autor

A matriz do índice de preferência contém os fluxos das alternativas estabelecidas calculados pelo método PROMETHEE II. Pode ser visto na Tabela 13 o resultado final da hierarquização das alternativas. Por exemplo, os fluxos de saída (Φ^+) e de entrada (Φ^-), e o fluxo líquido (Φ) da alternativa A1 calculados resultaram, respectivamente, em 0,2625, 0,1875 e 0,08.

Tabela 13 – Matriz do índice de preferência (fluxos)

	Φ^+	Φ^-	Φ
A1	0,2625	0,1875	0,08
A2	0,0625	0,5875	-0,53
A3	0,45	0	0,45

Fonte: Autor

Em síntese, a aplicação do método PROMETHEE II resultou em um ranking das alternativas estabelecidas, que pode ser visto na Tabela 14. A gestão da pressão (A3) obteve o melhor desempenho, por ter o maior valor aferido dentre os fluxos líquidos calculados, sendo $\Phi(A3)$ igual a 0,45. Esta alternativa foi bem avaliada nos quatro critérios. Segundo a opinião do grupo de especialistas, esta alternativa possui ótimo desempenho no critério ambiental, além de ter obtido boa avaliação nos critérios técnico, econômico e principalmente no social, que é o critério com maior peso, levando-a a ser a melhor alternativa a ser implementada.

Tabela 14 – Resultado da aplicação do método

Ranking	Alternativa	
1º	A3	Gestão da pressão
2º	A1	Controle ativo de perdas
3º	A2	Gestão da infraestrutura

Fonte: Autor

A gestão da infraestrutura (A2) obteve o pior desempenho, pois, apesar do bom desempenho na redução de perdas de água – critério ambiental, não possuiu bom desempenho nos demais critérios, com ênfase no seu alto custo de implementação e nos grandes danos que são causados à infraestrutura local, como danos ao pavimento do local, interferindo na rotina da comunidade, este que é um subcritério do critério social, que possui o maior grau de importância dentre os demais.

Apesar de obter um bom desempenho em quase todos os subcritérios avaliados, o controle ativo de perdas (A1) obteve um desempenho praticamente neutro com relação às demais alternativas, apresentando um valor de fluxo líquido $\Phi(A1)$ levemente acima de zero.

É importante que seja considerado que esta alternativa possui, ainda segundo a opinião do grupo de especialistas, um custo considerável de implantação e complexidade no uso de alguns equipamentos para sua implantação.

Por fim, a análise de sensibilidade foi realizada para verificar a consistência do modelo adotado, e para observar seu comportamento diante de possíveis variações, principalmente nos pesos atribuídos. Uma análise de sensibilidade procura determinar mudanças que podem ocorrer devido ao efeito da variação de um determinado fator relevante ao problema. Essa análise é importante para determinar se o resultado alcançado é sólido. Uma variação nos pesos atribuídos aos critérios foi feita, e notou-se que não houve mudanças significativas no *ranking* aferido.

Para uma análise mais abrangente dos resultados, é fundamental ser feita uma discussão com outros trabalhos que utilizem o método PROMETHEE, para avaliar quais são as melhores alternativas para a redução de perdas de água em sistemas de abastecimento de água de cidades de médio porte de Pernambuco.

6. CONCLUSÃO

Determinar qual é a melhor ação para problemas complexos e subjetivos pode ser uma tarefa difícil, principalmente quando os especialistas no assunto não conseguem convergir para um consenso. Após a modelagem do problema, onde foram estabelecidas as ações e os critérios, o método de sobreclassificação PROMETHEE II foi uma importante ferramenta matemática útil para o auxílio da tomada de decisão, sendo importante para a resolução da problemática avaliada sob diferentes critérios e alternativas para o gerenciamento das perdas de água.

Com a ferramenta PROMETHEE, foi possível chegar a uma solução viável para definir a melhor alternativa para minimizar perdas de água em sistemas de abastecimento de água, tornando possível compreender quais elementos direcionam a classificação das alternativas propostas, o que também evidenciou a importância da atribuição dos pesos a cada critério. Além disso, o método se mostrou bastante eficiente ao unificar a opinião do grupo de especialistas, obtendo a gestão de pressão como a melhor alternativa para a gestão de perdas de água.

Como recomendação para futuras pesquisas, a fim de se obter melhores resultados, deve-se avaliar outras alternativas e critérios e, por fim, implementar de fato as soluções aferidas para o gerenciamento das perdas de água em sistemas de abastecimento de água, reduzindo os seus altos índices.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABU-MAHFOUZ, A. M.; HAMAM, Y.; PAGE, P. R.; DJOUANI, K.; KURIEN, A. **Real-time Dynamic Hydraulic Model for Potable Water Loss Reduction**. Procedia Engineering, v. 154, p. 99-106, 2016.
- ALEGRE, H.; COELHO, S. T.; ALMEIDA, M. C.; VIEIRA, P. **Controlo de perdas de água em sistemas de adução e distribuição**. IRAR, Lisboa. 2005.
- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. **Aplicações com Métodos Multicritério de Apoio a Decisão**. Editora Universitária. 2003.
- ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. **Modelo de decisão multicritério para a priorização de sistemas de informação com base no método PROMETHEE**. Gestão e Produção, v. 9, n. 2, p. 201-214, 2002.
- ARAÚJO, A. G.; ALMEIDA, A. T. **Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método Promethee**. Revista Gestão e Produção, v. 16, n. 4, p. 534-543, 2009.
- BEZERRA, S. D. T. M.; CHEUNG, P. B. **Perdas de água: Tecnologia de controle**. 1a. ed. João Pessoa: UFPB, 2013.
- BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. **How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method**. European Journal of Operational Research, v. 24, p. 228-238, 1986.
- BRANS, J. P.; VINCKE, P. **A preference ranking organization method (The PROMETHEE method for multiple criteria decision-making)**. Management Science, v. 31, p. 647-656, 1985.
- BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. **PROMETHEE-GAIA: Une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples**. Bruxelles: Éditions de L'Université de Bruxelles, 2002.
- EGITO, T. B.; FONTANA, M. E.; MORAIS, D. C. **Seleção de alternativas de conservação de água no meio urbano utilizando abordagem multicritério**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, p. 209-221, 2015.
- GALVÁN, X. V. D. **Aplicación del método de jerarquías analíticas (AHP) a la gestión de pérdidas de agua en redes de abastecimiento**. 242p. Tesis doctoral - Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universitat Politècnica de València. 2011.
- GOMES, L. F. A. M., ARAYA, M. C. G., CARIGNANO, C. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos**. São Paulo: Editora Thomson. 2004.
- GÜNGÖR, M.; YARAR, U.; FIRAT, M. **Reduction of water losses by rehabilitation of water distribution network**. Environmental Monitoring and Assessment. p. 189-498. 2017.
- IBNET. **The international benchmarking network for water and sanitation utilities**. IBNET. 2011. Consulta de dados disponível em: <https://database.ib-net.org/quick?goto=country_profile&type=country>. Acesso em: 05 de junho de 2018.

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 Services Research and Technology (Aqua), v. 48, n. 6, p. 227-237, 1999.

LAMBERT, A. **Water Losses Management and Techniques.** Water Science Technology: Water Supply. International Report. 2002.

LIMA, J.D.; JUCÁ, J.F.T.; NÓBREGA, C.C.; MARIANO, M.O. H.; JUNIOR, F.H. C.; LIMA, M. T. C. D. **Modelo de apoio à decisão para alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na região nordeste do Brasil.** Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica, v. 6, n. 3, p. 11-28, 2013.

MACHARIS, C.; SPRINGAEL, J.; BRUCKER, K. D.; VERBEKE, A. **PROMETHEE and AHP: The desing of operation synergies in multicriteria analysis.** Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. European Journal of Operation Research, v. 153, n. 2, p. 307-317, 2004.

MALM, A.; MOBERG, F.; ROSÉN, L.; PETTERSSON, T. J. R. **Cost-benefit analysis and uncertainty analysis of water loss reduction measures: case study of the Gothenburg drinking water distribution system.** Water Resources Management, v. 29, p. 5451-5468.

MARCKA, E. 6º Curso: **Combate ao Desperdício de Energia e Água em Saneamento Ambiental.** 2005.

MIRANDA, E. C. **Avaliação de Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água – Indicadores de Perdas de Metodologias para Análise de Confiabilidade.** 130p. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. Brasília. 2002.

MONSEF, H.; NAGHASHZADEGAN, M.; FARMANI, R.; JAMALI, A. **Pressure management in water distribution systems in order to reduce energy consumption and background leakage.** Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua. p. jws2018002. 2018.

MORAIS, D.C.; ALMEIDA, A.T. **Modelo de Decisão em Grupo para Gerenciar Perdas de Água.** Pesquisa Operacional, v. 26, p. 567-584, 2006.

PAGE, P. R.; ABU-MAHFOUZ, A. M.; MOTHETHA, M. L. **Pressure management of water distribution systems via the remote real-time control of variable speed pumps.** Journal of Water Resources Planning and Management, v. 143, n. 8, p. 04017045, 2017.

PAGE, P. R.; ABU-MAHFOUZ, A. M.; YOYO, S. **Real-time adjustment of pressure to demand in water distribution systems: Parameter-less P-controller algorithm.** Procedia Engineering, v. 154, p. 391-397, 2016.

PALINI JUNIOR, L. **Perdas físicas de água em sistemas de abastecimento: método de diagnóstico, controle e redução através de sistema de informações geográficas.** 189p. Dissertação de Mestrado em Concentração de Recursos Hídricos. Faculdade de Engenharia Civil - FEC da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas. 2008.

PARRA, S.; KRAUSE, S.; KRÖNLEIN, F.; GÜNTHER, F. W.; KLUNKE, T. **Intelligent pressure management by pumps as turbines in water distribution systems: results of experimentation.** Water Science and Technology: Water Supply. p. ws2017154. 2017.

- SÁ, C. C. D. **A importância da micromedição no combate às perdas de água: estudo da hidromedidação da Companhia Águas de Joinville.** 128p. Dissertação de Mestrado em Engenharia sanitária ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. 2007.
- SILVA, B. O. C.; MONTEIRO, C. O.; TORRES, C. G. V.; SHINZATO, E.; MOKARZEL, F. C.; GUIBOSHI, M.; PELLEGRINI, T. C. **Controle de perdas de água em sistemas de distribuição.** 14p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de engenharia Hidráulica e Sanitária. 2003.
- SILVA, F.G.B.; SOARES, F.R.; ANDRADE, M.R.; SANT'ANA, D.O. **Water efficiency indicators studies and energy applied to real water distribution system of south of Minas Gerais - Brazil.** European Water, v. 58, p. 505-512, 2017.
- SNIS. **Sistema nacional de informações sobre saneamento.** SNIS, 2016. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>>. Acesso em: 04 de junho de 2018.
- SOUZA, A. C. **Otimização Hidroenergética da Operação de Sistemas de Distribuição de Água.** 131p. Dissertação em Engenharia do Meio Ambiente. Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás – UFG. Goiânia. 2013.
- VICENTE, D. J.; GARROTE, L.; SÁNCHEZ, R.; SANTILLÁN, D. **Pressure management in water distribution systems: Current status, proposals, and future trends.** Journal of Water Resources Planning and Management, v. 142, n. 2, p. 04015061, 2015.
- VINCKE, P. **Multicriteria Decision-Aid.** John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 0-471-93184-5, 1992.
- WERDINE, D. **Perdas de água em sistemas de abastecimento.** 129p. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia da Energia. UNIFEI. Itajubá. 2002.
- ZYOD S. H.; KAUFMANN, L. G.; SHAHEEN, H.; SAMHAN, S.; FUCHS-HANUSCH, D. **A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS.** Expert Systems with Applications, v. 61, p. 86-105, 2016.

APÊNDICE I – Questionário

Questionário Para Avaliação da Viabilidade de Alternativas Para Redução de Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento de Água.

Perdas de água

Perdas de água reais é o volume de água não faturado pela concessionária local responsável pela distribuição de água que é perdido por meio de vazamentos nas adutoras e redes, ou extravasamento de reservatórios.

Objetivo

O objetivo desse questionário é avaliar a viabilidade da aplicação de alternativas na gestão das perdas de água em sistemas de abastecimento de água, visando reduzi-las, com base nos critérios listados abaixo.

Alternativas

As alternativas avaliadas para a redução das perdas de água em sistemas de abastecimento de água são as seguintes:

- Controle ativo de perdas: o controle ativo tem a função localizar e reparar perdas de água não reportadas à concessionária; por exemplo, o uso de equipamentos acústicos para localização de vazamentos não visíveis.
- Gestão da infraestrutura: visa a reparação e renovação da infraestrutura do sistema de abastecimento de água. Por exemplo, a substituição de tubulações antigas.
- Gestão da pressão: possui o intuito de garantir que o sistema opere com pressões adequadas. Por exemplo, o uso de válvulas redutoras de pressão para o controle de setores da rede.

Critérios

- Sociais (tempo de implementação e danos a infraestrutura existente);
- Técnicos (viabilidade e complexidade de implantação);
- Ambientais (redução do consumo e das perdas de água);
- Econômicos (custo de implantação e tempo de retorno do investimento).

Questionário

- Qual o grau de viabilidade você considera que os objetivos apresentados têm na gestão de perdas de água, com relação às alternativas consideradas (Ótimo, Bom, Médio, Ruim ou Péssimo)?

		Viabilidade da Alternativa		
		Controle ativo de perdas	Gestão da infraestrutura	Gestão da pressão
Objetivo	Tempo de implementação			
	Danos à infraestrutura existente			
	Viabilidade de implantação			
	Complexidade de implantação			
	Redução do consumo de água			
	Redução das perdas de água			
	Custo de implantação			
	Tempo de retorno dos investimentos			

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Qual o grau de importância (peso) que você atribui para cada um dos critérios considerados para a gestão de perdas de água em sistemas de abastecimento de água? Obs.: A soma dos pesos deve ser igual a 1.

Social:___

Técnico: ___

Ambiental:___

Econômico:___