

# AVALIAÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA EM REDES DE ABASTECIMENTO COM ESCASSEZ DE DADOS

## 1. INTRODUÇÃO

Os países em desenvolvimento perdem mais de 40% da água tratada distribuída pelas empresas de abastecimento devidos a vazamentos, enquanto a média mundial é da ordem de 20%. Ao diminuir as perdas entre 5% a 10%, as empresas economizariam até US\$ 4,6 bilhões (MOSEER; PAAL; SMITH, 2015).

Para um gerenciamento eficaz em uma empresa de abastecimento, é necessário mensurar dados detalhados sobre a rede de distribuição de água. A necessidade crescente de novas fontes de água com a preservação do meio ambiente torna fundamental determinar e reduzir as perdas de água (OCIEPA; MOLIK; LACH, 2018)

No que tange à temática da água, muito se discute sobre sua disponibilidade e aproveitamento, pois é um elemento necessário para a vida e as atividades humanas. O uso sustentável da água na sociedade é uma meta que todas as organizações competentes almejam alcançar, porém os índices de desperdícios, tanto pela população quanto pelas empresas, ainda são elevados no Brasil.

O aumento da procura por água para os mais distintos usos e a acentuação da degradação ambiental estimularam no Brasil a promoção de uma série de medidas para o engajamento de novas tecnologias, uso sustentável da água e controle de perdas em redes de distribuição (ANDRADE SOBRINHO; BORJA, 2016).

As perdas de água são características de todos os sistemas de abastecimento (SNIS, 2016), porém altos índices de desperdícios, somados a épocas de escassez hídrica, evidenciam ineficiência no gerenciamento e na distribuição. Nesta premissa, a falta de eficiência na gestão das redes de distribuição de água pelas prestadoras de serviços compromete os projetos de redução de perdas de água (MORAIS; CAVALCANTE; ALMEIDA, 2010).

As perdas nos sistemas de distribuição aumentam os custos operacionais, restringem a receita e diminuem a possibilidade das empresas de água ampliarem o atendimento à população (ARREGUI et al., 2018).

Trojan e Morais (2015) afirmam que o abastecimento de água na maioria dos países é gerenciado por empresas públicas e que melhorar sua eficiência é importante. A prioridade deve ser a gestão da disponibilidade da água, e não a redução de distribuição.

Mensurar o volume de água não faturada permite medir os níveis de vazamentos de água nas redes deterioradas, os índices de perdas reais aparentes, e é considerado um indicador de eficiência operacional do sistema de distribuição (MCINTOSH, 2003).

Os desperdícios de água nas redes de abastecimento se dão por diversos fatores e nos diferentes níveis organizacionais e afetam o processo de distribuição de água até o consumidor final. Geram consequências econômico-financeiras não apenas para a prestadora de serviço, mas também para a sociedade. Assim, o gerenciamento de perdas de água é benéfico para os distribuidores e consumidores.

Analisando no contexto mundial, o Brasil se encontra com um nível de perdas de água acima da média de países desenvolvidos e em desenvolvimento, com índice próximo a 40% de desperdícios de água (PHILIPPI JUNIOR; GALVÃO JUNIOR, 2012). Os países de primeiro mundo investem fortemente no gerenciamento de perdas de água, por meio do uso de novas tecnologias, planejamento estratégico e outros meios organizacionais.

Na perspectiva de Bittencourt e Paula (2014), um fator que pode conduzir ao descaso e levar à ineficiência na gestão de perdas de água no Brasil é que o país está entre os que possuem maior disponibilidade de recursos hídricos. A situação tende a ser mais grave em

regiões como sudeste e nordeste do Brasil, que sofrem com escassez hídrica, e permite concluir que a gestão de perdas de água é ineficaz.

Os recursos financeiros poupados com a diminuição das perdas de água podem ser empregados para ampliar a rede de abastecimento, reduzir as crises de escassez, os custos de produção, diminuir tarifas, elevar os ganhos econômicos e melhorar a saúde da população (WYATT; ALSHAFFEY, 2012)

O presente trabalho tem por objetivo propor método para avaliar sistemas de distribuição de água com escassez de dados de monitoramento, efetuando estudo de caso no município de São Luís/MA. Conforme as informações do SNIS (2018), a Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA) tem índices de 66,23% de desperdícios de água ao longo de todo o processo de produção, 26,3% a mais que a média nacional, que já é alta.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Perdas em sistemas de abastecimento de água.**

Os sistemas de abastecimento possuem distintos tipos e níveis de perdas, cada um com suas especificidades, métodos de redução adequados e custo. Porém, antes da análise de custo e benefício ser efetuada, as soluções de redução precisam ser identificadas. Deve-se considerar na intervenção as condições locais e a sustentabilidade do método ou solução definida (THORNTON; STURM; KUNKEL, 2008).

As perdas nos sistemas de abastecimento são conceituadas, na visão de Tardelli (2015), como a diferença entre a água tratada disponibilizada nas redes de distribuição e a medição de consumo dos clientes. Entender as perdas somente na perspectiva de vazamentos operacionais é uma ideia simplória, uma vez que, os desperdícios podem ser visíveis ou não, e geram consequências não somente na operacionalização sistêmica de fornecimento.

Para Gupta e Kulat (2018), as perdas de água definidas como aparentes abrangem erros de medição, consumo não autorizado e fraudes. As perdas reais são caracterizadas por vazamentos ao longo do processo de distribuição. Na perspectiva de Al-Washali, Sharma e Kennedy, (2018), o consumo autorizado não faturado é classificado como perda, apesar de ser aproveitado, pois é o volume de água utilizado pela empresa para serviços operacionais, como lavagem de tubulações.

Os vazamentos comprometem a estabilidade técnica dos sistemas de abastecimento de água, a vida útil da rede, a qualidade da água e os serviços prestados. Na perspectiva econômica, os impactos das perdas de água são significativos, pois elevam os custos operacionais, exigem maiores investimentos e diminuem as receitas das prestadoras de serviço (AL-WASHALI; SHARMA; KENNEDY, 2016).

Além das perdas de receitas, os vazamentos resultam em acréscimo dos gastos com energia para bombeamento, má qualidade da água e impactos sociais e ambientais (WU et al., 2012). Níveis elevados de perdas acarretam a procura por novas fontes de água, aumento dos custos de operação, reclamações dos consumidores devido às interrupções de fornecimento de água, entre outros (GÜNGÖR; YARAR; FIRAT, 2017).

Özdemir (2018) indica que gerenciamento de perdas de água se baseia em estágios que identificam a perda, detectando vazamentos, promovendo reparos, manutenção e utilizando métodos sustentáveis e de prevenção. Entende-se o processo de gestão de perdas de água como um ciclo fechado de produção e distribuição.

Christodoulou et al. (2009) pontuam que a gestão das redes de distribuição além de incluir novas metodologias para monitorar, reparar ou substituir a infraestrutura, deve acrescentar métodos de modelagem da infraestrutura, analisar série histórica de perdas, o risco

de falha na rede, base de dados geoespaciais, sistemas de informações geográficas e métodos de avaliação.

O gerenciamento de água em redes de distribuição deve relacionar as demandas dos consumidores com o número de fontes de água, o volume disponível, os critérios de qualidade e as perdas de água existentes em redes (CHIRICA; LUCA; LATEŞ, 2018).

Mazzolani et al. (2016) ressaltam que a diminuição de perdas em sistemas de abastecimento possui forte impacto econômico, já que permite reduzir o desperdício de água, energia, custo de tratamento e bombeamento, danos ocasionados por terceiros, entre outros.

Diminuir as perdas de água deve ser uma das prioridades das empresas de abastecimento. Desta forma, podem reduzir os custos de operação da rede, tal qual os custos de capital a longo prazo, pois quanto menor a demanda de água na rede, menor os custos de investimento. O avanço no sistema de abastecimento traz benefícios à imagem da empresa, cujo objetivo é um fornecimento confiável (OCIEPA-KUBICKA; WILCZAK, 2017).

A redução de desperdícios em redes de distribuição é fator estratégico para a tomada de decisão, buscando promover a sustentabilidade e a competitividade no mercado. Dessa forma, investir na redução de perdas origina benefícios econômicos por meio de redução de custos operacionais e aumento do faturamento em curto prazo (KUSTERKO et al., 2018).

Trojan e Morais (2015) revelaram que os gestores apontam que as perdas reais são os principais meios de perdas de água e, portanto, realizam diagnósticos intensivos de vazamentos, sem considerar a relevância de perdas aparentes.

Os sistemas de abastecimentos devem ser monitorados para obtenção de dados, preferencialmente em tempo real, que permitam um controle eficiente. Isso é importante para uma operação adequada e prestação de serviços de qualidade. Uma gestão eficaz é capaz de agregar resultado econômico, satisfação social e exploração sustentável dos recursos naturais (HERRERA et al., 2018).

Na América Latina, existem poucos estudos. Embora haja relatos de algumas experiências, a implantação da avaliação e controle de perdas de água é escassa e difícil, pois os métodos de aplicação exigem infraestrutura adequada, conhecimento técnico, dados disponíveis e confiáveis (MUTIKANGA; SHARMA; VAIRAVAMOORTHY, 2011). Portanto, são necessários sistemas de baixo custo e fácil implementação para estimar as perdas de água, planejar reparos técnicos e alocação de recursos (OVIEDO-OCANA et al., 2020).

## **2.2 Indicadores de desempenho**

Os indicadores de desempenho permitem avaliar os sistemas de abastecimento de água, envolvendo a determinação da vazão e embasando ações de prevenção de perdas de receita (MUTIKANGA et al., 2010).

Os indicadores de desempenho são utilizados para mensurar os resultados de eficiência das redes de distribuição e fornecer dados para a tomada de decisão para as estratégias de gerenciamento. Os indicadores em porcentagens são impróprios para quantificar o desempenho operacional da gestão de perdas, pois os percentuais são afetados por variações no sistema (QUEVEDO et al., 2012).

A precisão dos indicadores de desempenho nas redes de distribuição depende dos dados coletados. Assim, dados incorretos ou imprecisos levam a decisões errôneas e gerenciamento incorreto, sendo preciso avaliar a qualidade e a confiabilidade das informações e a precisão da medição. Redução da incerteza das informações é relevante principalmente em países em desenvolvimento, já que as medições são escassas e poucos confiáveis (BABIC et al., 2014).

O desempenho de uma rede de distribuição de água é medido para avaliar as condições e necessidades de reestruturação do sistema, para assegurar a permanência e confiabilidade dos componentes do sistema de distribuição antes da existência de falhas (HAIDER et al., 2014).

O acompanhamento das falhas pode contribuir para definir projetos, processos, métodos e ferramentas de controle do sistema para evitar perdas. A análise das falhas é realizada para alcançar a sustentabilidade, que pode ser afetada por condição técnica ruim e por uso de material de baixa qualidade (PIETRUCHA-URBANIK, 2015).

Segundo Tabesh (2009), os índices de desempenho fornecem aos gestores uma visão mais ampla da infraestrutura e permitem avaliar a situação para uma tomada de decisão mais assertiva de um plano de gestão de perdas mais adequado.

### **2.3 Controle e redução de perdas.**

A gestão dos sistemas de abastecimento de água é um processo de tomada de decisão contínua, algumas vezes sob um grau de incerteza elevado, devido à variação da demanda dos usuários e ausência de informações precisas do sistema (NICOLINI; GIACOMELLO; DEB, 2011).

A decisão para implantação do método de intervenção mais efetivo para redução das perdas reais depende dos aspectos que ocasionam perdas e da análise custo-benefício dos métodos (BENNIS et al., 2011).

Fontana et al. (2016) consideram ações de prevenção as atividades de quantificação, detecção, gerenciamento de pressão e monitoramento para controle de perdas de água. A partir dessas medidas uma empresa de abastecimento de água é competente para promover ações corretivas na detecção das perdas.

Existem outras abordagens, como, por exemplo, as evidências visuais, como as infiltrações de água, vazamentos na superfície e crescimento de vegetação. São situações relatadas pelos consumidores que também desempenham um papel relevante nas detecções de vazamentos, principalmente nos países em desenvolvimento (XU et al., 2014).

A identificação eficiente de vazamentos pode diminuir as perdas de água e aumentar a disponibilidade para os consumidores finais, reduzindo a escassez. A detecção rápida da localização de rupturas também diminui os recursos humanos necessários e custos adicionais para reestabelecimento das redes (GUPTA; KULAT 2018).

Güngör, Yazar e Firat (2017) analisaram a cidade de Denizli, Turquia, constatando entre 30 e 40 falhas diárias que ocasionavam altas perdas de água. A partir de 2009 foi realizada a recuperação de rede de abastecimento no centro da cidade e, durante os anos de 2012 a 2015 foi identificada apenas uma falha. Essa diminuição de falhas gerou ganhos estimados em US\$ 300 por falha evitada.

Os vazamentos estão diretamente vinculados à pressão, ou seja, quanto maior a pressão maior os volumes de água perdidos. O gerenciamento de pressão é um dos componentes de redução de vazamentos em redes de abastecimentos (FRAUENDORFER; LIEMBERGER, 2010).

Lambert (2002) considera que o gerenciamento de pressão não consiste apenas em setorização ou instalação de válvulas redutoras de pressão (VRP), mas sim reduzir o alcance, a frequência das falhas, o controle do nível e transbordamentos em reservatórios.

Os dados de água não faturada disponíveis são limitados e podem ser errôneos e fraudulentos. Em alguns países a legislação exige que o índice de perdas de água seja menor que o estabelecido, promovendo a tendenciosidade de informações inferiores aos dados reais para cumprir os requisitos legais. Por exemplo, na antiga União Soviética, as empresas eram obrigadas a manter as perdas de água em nível inferior a 18%, e as concessionárias forjavam

dados abaixo desse limite legal, quando seus níveis de perdas eram de 50% (FRAUENDORFER; LIEMBERGER, 2010).

Para a redução e controle de perdas de água é essencial medir e monitorar os dados, dividir e gerenciar a rede de distribuição em setores menores, substituir a rede que ultrapassou a vida útil e monitorar os vazamentos. Ao verificar a vazão mínima noturna, é fundamental a utilização de sistemas de monitoramento e controle. Contudo, isso é demorado e requer altos investimentos (BOZTAŞ et al., 2018)

De acordo com estudos de Ociepa, Mrowiec e Deska, (2019), na Alta Silésia, Polônia, as perdas de água foram reduzidas de 20% em 2008 para 8% em 2017, e o número de falhas diminuiu de três falhas para menos de uma falha por ano. Esses resultados foram alcançados pela implantação de monitoramento do sistema que possibilitou o controle dos níveis de vazão, pressão e permitiu a observação e análise de vazões mínimas noturnas.

Ainda segundo Ociepa, Mrowiec e Deska, (2019), no ano de 2009, em outro local, ocorreram 900 falhas no abastecimento de água, que foram reduzidas para 300 em 2017. Essas alterações ocorreram devido à reestruturação de mais de 60 km de redes antigas, com vazamentos, corroídas e com rompimentos.

As empresas citadas nos dois casos anteriores possuem o sistema de abastecimento monitorado, controlam ativamente as perdas de água e investem em práticas buscando a redução de perdas.

Ociepa-Kubicka; Wilczak (2017) analisaram a Companhia de Abastecimento de Água e Esgoto de Gliwice, Polônia, nos anos de 2012 a 2015. A população atendida era de 200.000 pessoas e o comprimento total da rede 813,59 km. O índice de perdas diminuiu de 15% em 2012, para 10% nos últimos anos. Os resultados compreendem várias ações, como monitoramento contínuo, redução e estabilização da pressão, reparos e substituições de rede danificada. O controle ativo na rede foi implantado para identificar falhas rapidamente, fornecendo às equipes de operação equipamentos especializados. A análise destes indicadores comprova que a empresa adotou medidas eficazes de redução de perdas.

Boztaş et al. (2018), analisando o sistema de Malatya, Turquia no ano de 2014, analisaram perdas de água com a vazão mínima noturna e o controle ativo de vazamento (CAV), investigando as implicações dos vazamentos não relatados. Foram monitoradas as vazões mínimas noturnas em quatorze regiões, e realizada a detecção de vazamentos não visíveis pelo controle ativo de vazamentos, utilizando equipamentos acústicos para verificar alterações na vazão noturna. Um total de 336 pontos de vazamentos em potencial foram detectados pelo CAV, e 239 foram identificados com vazamentos. Desses 239, 185 eram vazamentos de conexão de serviços e 54 eram falhas na rede. Após a identificação e os reparos realizados, houve uma redução de  $148,9 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  (62,30%) na vazão mínima noturna (BOZTAŞ et al., 2018).

Portanto, a gestão de uma rede de abastecimento é realizada por meio de diversos elementos, como previsão de demanda, setorização da rede, identificação de vazamentos, manutenção do sistema e controle de perdas. É importante empregar técnicas adequadas para tratar as informações, que podem ser afetadas pelas incertezas e subjetividade (HERRERA et al., 2018).

Nas últimas décadas, os estudos sobre perdas nos sistemas de distribuição produziram vários métodos e estratégias para gestão eficaz de perdas. A aplicação de tecnologias de informação e comunicação (TIC) está possibilitando uma gestão eficiente, confiável e sustentável das redes de abastecimento (BERARDI; GIUSTOLISI, 2016).

As aplicações das TIC's nos sistemas de abastecimentos permitem obter e armazenar dados para realizar análises para contribuir para maior eficiência e eficácia no gerenciamento de perdas de água. Há a necessidade de aproveitar as tecnologias inovadoras para alcançar uma infraestrutura sustentável. Muitos sistemas de abastecimentos possuem processos operacionais

que ainda são realizados manualmente como verificações de vazamentos, qualidade da água e leitura dos medidores (CHEONG; HSING; KHUAN, 2016).

As tecnologias de medição inteligente apresentam benefícios para a gestão das perdas nos sistemas de abastecimentos de água: a) gerenciamento de dados do perfil do cliente; b) aumento no índice de faturamento; c) detecção de vazamentos; d) identificação de erros no hidrômetros (FARAH; SHAHROUR, 2018).

Os sistemas urbanos de água estão adentrando a era digital, com vantagens para seus provedores, usuários e sociedade. Os benefícios dos sistemas de abastecimentos inteligentes podem trazer alguns desafios, principalmente em relação à privacidade e à segurança dos dados. (MOY DE VITRY et al., 2019).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi pesquisada a existência e abrangência de aplicativos para telefone celular das principais empresas de saneamento no Brasil, buscando-se identificar a disseminação de TICs neste setor.

A análise de perdas foi realizada na Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão (CAEMA), em São Luís – MA. O Sistema de distribuição da CAEMA é subdividido em sete zonas de abastecimento, com uma população atendida de 897.890.

A análise dos dados foi referente ao período de 2014 a 2018, obtidos no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). A partir destes dados foram estimados indicadores recomendados pela IWA (Lambert, 2000), e aqui selecionados por poderem ser calculados a partir dos poucos dados existentes sobre a rede.

- a) Perdas reais anuais totais (CARL);
- b) Água sem receita (NRW);
- c) Perdas reais anuais inevitáveis (UARL);
- d) Indicador técnico de perdas reais (TIRL);
- e) Índice de vazamento de infraestrutura (ILI).

Os indicadores foram calculados com base nas equações 1 a 5 usando os dados disponíveis no SNIS.

O indicador perdas reais anuais totais (CARL), equação 1, permite calcular o volume total de perdas de água no sistema de abastecimento.

$$\text{CARL} = \text{Ves} - \text{Ca} \quad (1)$$

Onde,

Ves – Volume de entrada no sistema (m<sup>3</sup>/ano);

Ca – Consumo autorizado (m<sup>3</sup>/ano).

O indicador água sem receita (NRW), equação 2, é definido como a diferença do volume de entrada e o consumo autorizado faturado.

$$\text{NRW} = [ (\text{Ves} - \text{Caf}) / \text{Ves} ] \times 100 \quad (2)$$

Onde,

Ves – Volume de entrada no sistema (m<sup>3</sup>/ano);

Caf – Consumo autorizado faturado (m<sup>3</sup>/ano).

As perdas reais anuais inevitáveis (UARL), equação 3, indicam o volume de perdas consideradas inevitáveis, já que são difíceis de detectar e reparar, pois não é economicamente viável. O nível de perdas inevitáveis varia de acordo com o comprimento da rede, pressão, falhas e números de clientes.

$$\text{UARL} = (18 \times \text{Cr}/\text{Nc} + 0,80 + 25 \times \text{Lp}/\text{Nc}) \times \text{P} \quad (3)$$

Onde,

Cr – Comprimento da rede (km);

Nc – Número de conexões de serviços;

Lp – Comprimento das conexões da rede até o medidor do cliente (m);

P – Pressão do sistema (mca).

O indicador técnico de perdas reais (TIRL), equação 4, é determinado pelo volume anual de perdas reais dividido pelo número de conexões de serviços.

$$\text{TIRL} = \text{CARL} / \text{Nc} \quad (4)$$

Onde,

CARL – Perdas reais anuais totais (m<sup>3</sup>);

Nc – Número de conexões de serviços.

O índice de vazamento da infraestrutura (ILI), equação 5, é a razão entre o indicador técnico de perdas reais e as perdas reais inevitáveis. O ILI estima a eficácia das atividades de gestão operacional da infraestrutura – reparos, controle de vazamento ativo e gerenciamento de rede e tem escala de 1 a 5. O ILI foi calculado conforme equação 5.

$$\text{ILI} = \text{TIRL}/\text{UARL} \quad (5)$$

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A fim de investigar as tecnologias mais recentes voltadas para a gestão dos sistemas de abastecimento, foram pesquisados os aplicativos para telefone celular das 28 empresas participantes do SNIS, e como estes são utilizados para melhorar a gestão de perdas de água. O Quadro 1 destaca apenas os itens relacionados às perdas de água (reais e aparentes), desconsiderando os demais componentes dos aplicativos, tendo em vista o foco do estudo.

Quadro 1 Descrição das empresas de abastecimentos com Apps (TIC's).

Nº	Companhia	UF	APP	Denúncia Fraude	Informar vazamento
1	AGESPISA	PI	Não	Não	Não
2	ATS	TO	Não	Não	Não
3	CAEMA	MA	Sim	Sim	Sim
4	CAER	RR	Sim	Sim	Sim
5	CAERD	RO	Sim	Não	Não
6	CAERN	RN	Sim	Não	Sim
7	CAESA	AP	Não	Não	Não
8	CAESB	DF	Sim	Não	Sim
9	CAGECE	CE	Sim	Sim	Sim
10	CAGEPA	PB	Sim	Não	Sim
11	CASAL	AL	Sim	Sim	Sim
12	CASAN	SC	Sim	Não	Sim
13	CEDAE	RJ	Não	Não	Não
14	CESAN	ES	Sim	Não	Sim
15	COMPESA	PE	Sim	Não	Sim
16	COPANOR	MG	Não	Não	Não
17	COPASA	MG	Sim	Não	Sim
18	CORSAN	RS	Sim	Não	Sim
19	COSAMA	AM	Não	Não	Não
20	COSANPA	PA	Não	Não	Não
21	DEPASA	AC	Não	Não	Não
22	DESO	SE	Sim	Não	Sim
23	EMBASA	BA	Sim	Não	Sim
24	SABESP	SP	Sim	Não	Sim
25	SANEAGO	GO	Sim	Não	Não
26	SANEATINS	TO	Sim	Não	Sim
27	SANEPAR	PR	Sim	Não	Não
28	SANESUL	MS	Sim	Não	Sim
	Quantas têm		20	4	17
	%		71,4%	14,3%	60,7%

Observa-se no quadro 1 que apenas quatro empresas possuem aplicativo que permite denúncia de fraudes, que afetam as perdas aparentes. Trojan e Moraes (2015) revelaram que os gestores apontam que as perdas reais são os principais meios de perdas de água e, portanto, realizam diagnósticos intensivos de vazamentos, sem considerar a relevância de perdas aparentes.

Destaca-se, ainda, que alguns dos aplicativos pesquisados não apresentam um item específico para relatar vazamentos, mas sim uma maneira de registrar problemas de modo geral. Assim, foram considerados atendendo o requisito de denúncia de perdas devido à abrangência.

Na perspectiva econômica, os impactos das perdas de água são significativos, pois vazamentos elevam os custos operacionais e exigem maiores investimentos, já as perdas aparentes diminuem consideravelmente as receitas das prestadoras de serviço (AL-WASHALI; SHARMA; KENNEDY, 2016).

A figura 1 apresenta os volumes de perdas reais anuais totais entre os anos de 2014 e 2018, calculado conforme equação 1. Observa-se que o ano de 2018 teve o maior volume de

perdas no período analisado, resultando no total de 83.160.240 m<sup>3</sup>, representando 66,23% em percentual de perdas. Em 2016 foi alcançado o menor volume de perdas no total de 73.892.680 m<sup>3</sup>, perfazendo 62,69% em percentual de perdas. Observa-se que os cinco anos pesquisados tiveram índices de perdas superiores a 60%, o que evidencia falhas na gestão de perdas de água.

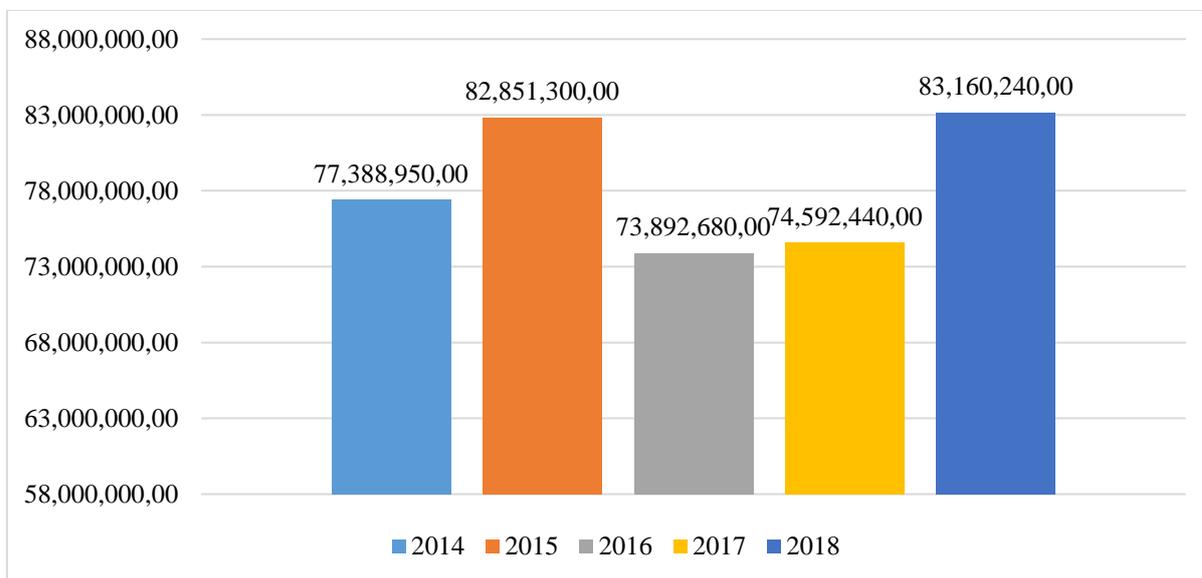


Figura 1 Volume de perdas reais anuais totais (CARL) 2014 a 2018.

Elevados níveis de perdas reais ocasionam fornecimento intermitente, pois reduzem a disponibilidade de água, gerando redução do período de distribuição e aumentando a vazão na rede pela elevação da pressão para suprir a demanda (FRAUENDORFER; LIEMBERGER, 2010).

No fornecimento intermitente, a finalidade deve ser melhorar o abastecimento, elevar a produção de água e avançar para uma distribuição contínua. No entanto, é desafiador monitorar o progresso da gestão e intervenções de água não faturada, pois todos os indicadores de eficiência variam de acordo com a quantidade de água fornecida (AL-WASHALI et al., 2019).

Ao desenvolver um entendimento mais aprofundado desses elementos, que podem ou não ser controlados pelas empresas de abastecimento, metas de nível de perdas otimizadas podem ser estabelecidas a longo prazo (GÜNGÖR-DEMIRCI et al., 2018).

Elevados níveis de perdas podem ser reduzidos se as rupturas e vazamentos forem detectados e o tempo de ação entre a falha e o reparo do vazamento for reduzido. O volume total de perdas de água em rupturas depende da magnitude dos vazamentos (vazão), número de ocorrências e o tempo de resposta para identificação e correção do problema (PALAU; ARREGUI; CARLOS, 2011).

O volume anual de perdas de água é um critério relevante na avaliação de eficiência de distribuição de perdas de água, tanto a curto e quanto a longo prazo. Nos países em desenvolvimento a combinação de perdas de água, saneamento deficiente e fornecimento intermitente elevam o risco para a saúde pública (WINARNI, 2009).

A figura 2 apresenta os índices de perdas de água sem receita entre os anos de 2014 e 2018, calculado conforme equação 2. Verificou-se que o ano de 2018 apresentou o maior índice de perdas de água sem receita, contabilizando 66,25%. O ano de 2016 atingiu o menor índice de 62,71%. Os valores associados a este indicador também indicam deficiências na gestão do sistema.

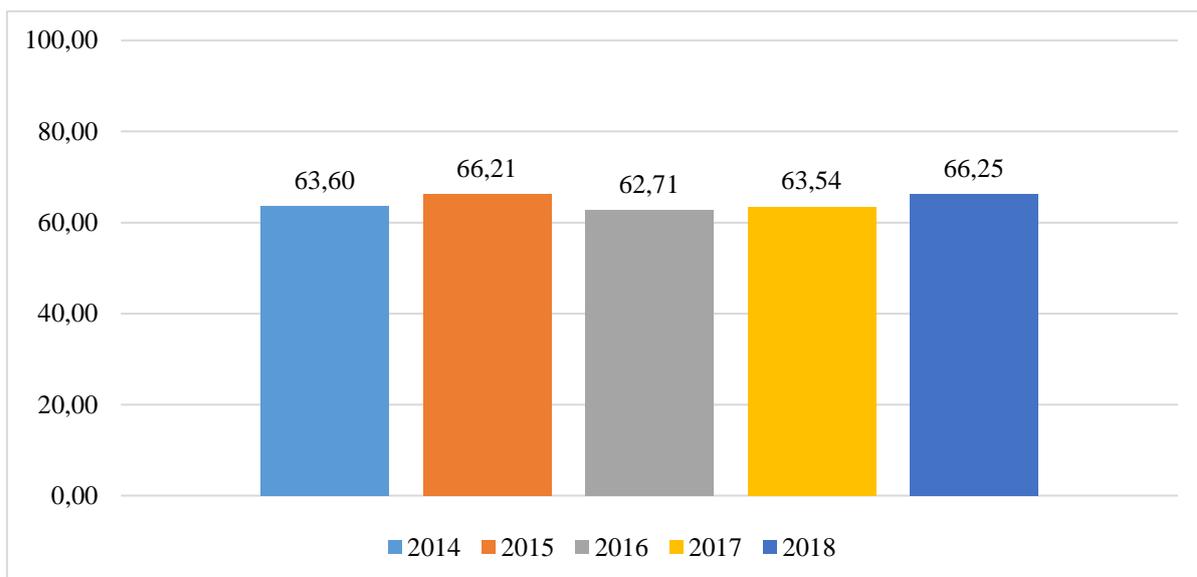


Figura 2 Índice de água sem receita de 2014 a 2018.

Considerando o volume total de perdas de água em 83.160.240 m<sup>3</sup> e a tarifa média praticada de R\$ 3,89, estima-se perdas de receitas em R\$ 323.493.333,60 para o ano de 2018. Já em 2016 as perdas de receita contabilizaram R\$ 270.447.208,80. Ressalta-se que em 2018 a empresa avaliada teve o prejuízo em R\$ 170.926.000,00, representando 52,84% das perdas de receita. No ano de 2016, apesar do elevado índice de perdas, houve um resultado positivo de R\$ 10.739.000.

Baixos índices de água não faturada são essenciais para manter um funcionamento financeiro estável em um sistema de abastecimento de água. Na gestão de perdas, quanto menor o nível de água não faturada melhor o gerenciamento da distribuição de água, o contrário evidenciando problemas de gestão (JANG, 2018).

Os desperdícios de água nas redes de abastecimento geram consequências econômico-financeiras não apenas para a prestadora de serviço, mas também para a sociedade. Assim, o gerenciamento de perdas de água é benéfico para os distribuidores e consumidores.

A figura 3 apresenta os volumes perdas reais anuais totais inevitáveis entre os anos de 2014 e 2018, calculado conforme equação 3. O ano de 2016 possui o maior nível de perdas inevitáveis somando 7.927.642,40 m<sup>3</sup>, representando 10,53% do total das perdas. O ano de 2014 alcançou o menor volume totalizando 6.566.506,80 m<sup>3</sup>, perfazendo 8,49% das perdas. Os valores relativamente baixos deste indicador, em comparação aos anteriores, indicam ser possível diminuir os níveis de perdas no sistema analisado.

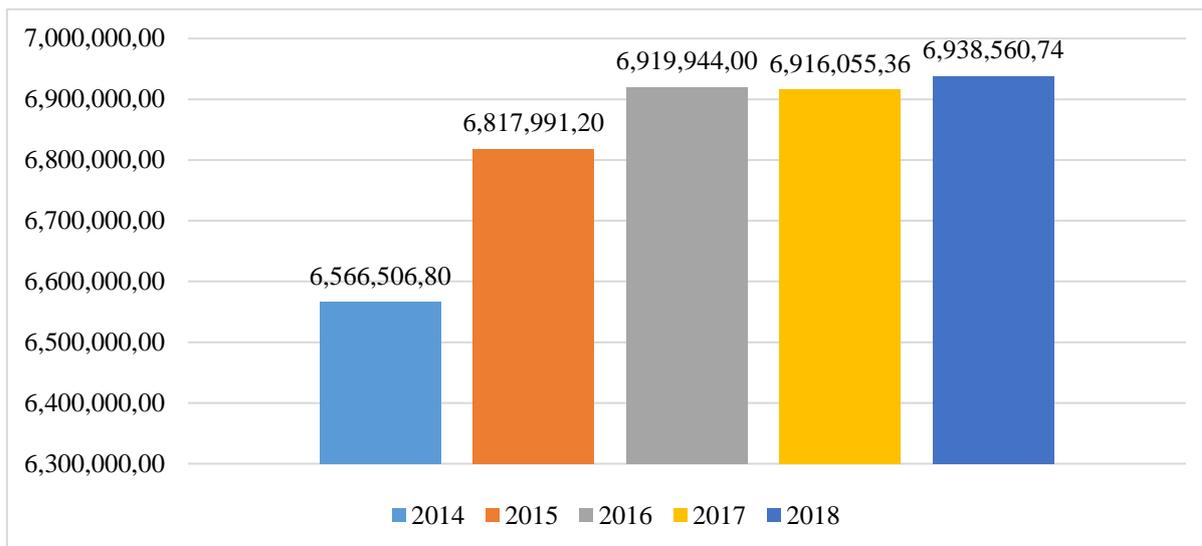


Figura 3 Perdas reais anuais totais inevitáveis de 2014 a 2018.

As perdas reais consistem em diversos tipos de vazamentos em que o volume de perdas de cada evento é calculado pelo produto da vazão média e a duração dos vazamentos. Assim, parte das perdas são evitáveis e o restante inevitável (AL-WASHALI et al., 2020).

Além das perdas de receitas, as perdas resultam em acréscimo dos gastos com energia para bombeamento, má qualidade da água e impactos sociais e ambientais (WU et al., 2012).

A figura 4 apresenta as perdas reais entre os anos de 2014 e 2018, calculado conforme equação 4. O ano de 2015 possui o maior indicador com o total de 359,01 L/conexão/dia. O ano de 2017 foi o menor em volume somando 312,11(L/conexão/dia). Esses valores equivalem a, aproximadamente, três consumidores adicionais por ligação.

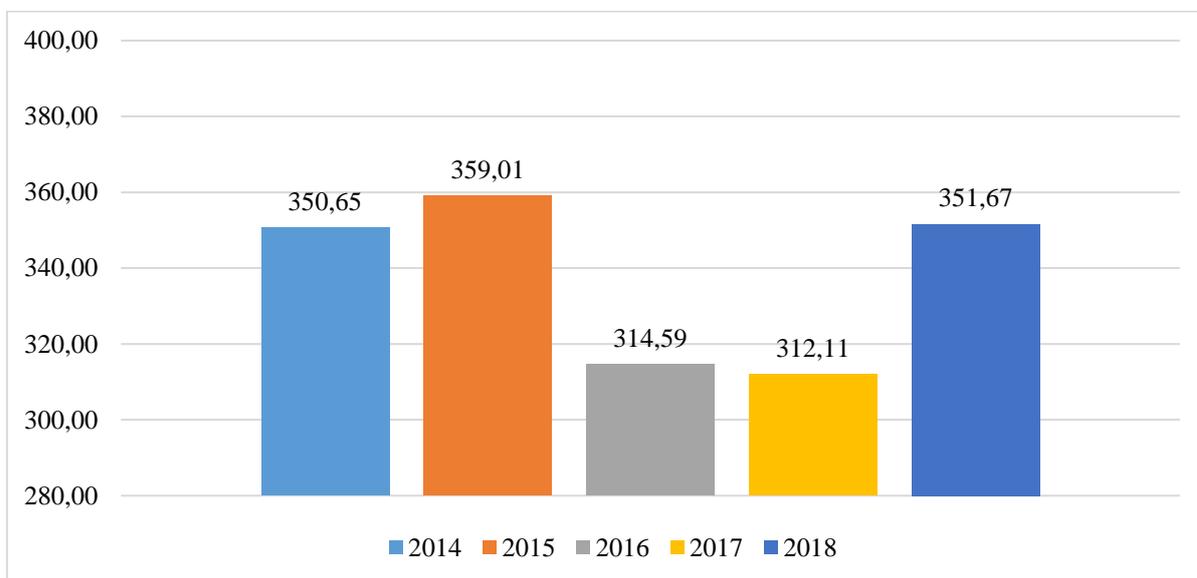


Figura 4. Indicador técnico de perdas reais de 2014 a 2018.

Os elementos de perdas reais devem ser analisados para reduzir as perdas. Os fatores que ocasionam as perdas reais de modo geral podem ser material, dimensões e idade do canal de distribuição, pressão do sistema, qualidade da mão de obra entre outros (WANG et al., 2009).

Trojan e Moraes (2015) revelaram que os gestores apontam que as perdas reais são os principais meios de perdas de água e, portanto, realizam diagnósticos intensivos de vazamentos, sem considerar a relevância de perdas aparentes.

Níveis elevados de perdas reais acarretam a procura por novas fontes de água, aumento dos custos de operação, reclamações dos consumidores devido às interrupções de fornecimento de água, entre outros (GÜNGÖR; YARAR; FIRAT, 2017).

A figura 5 apresenta índice de vazamento da infraestrutura entre os anos de 2014 e 2018, calculado conforme equação 5. Os valores oscilaram entre 3,9 e 4,44, ficando em uma faixa que indica quanto mais alto, maior a necessidade de gerenciamento de perdas reais, manutenção da infraestrutura, controle ativo de vazamento, velocidade e qualidade de reparos (LAMBERT, 1999).

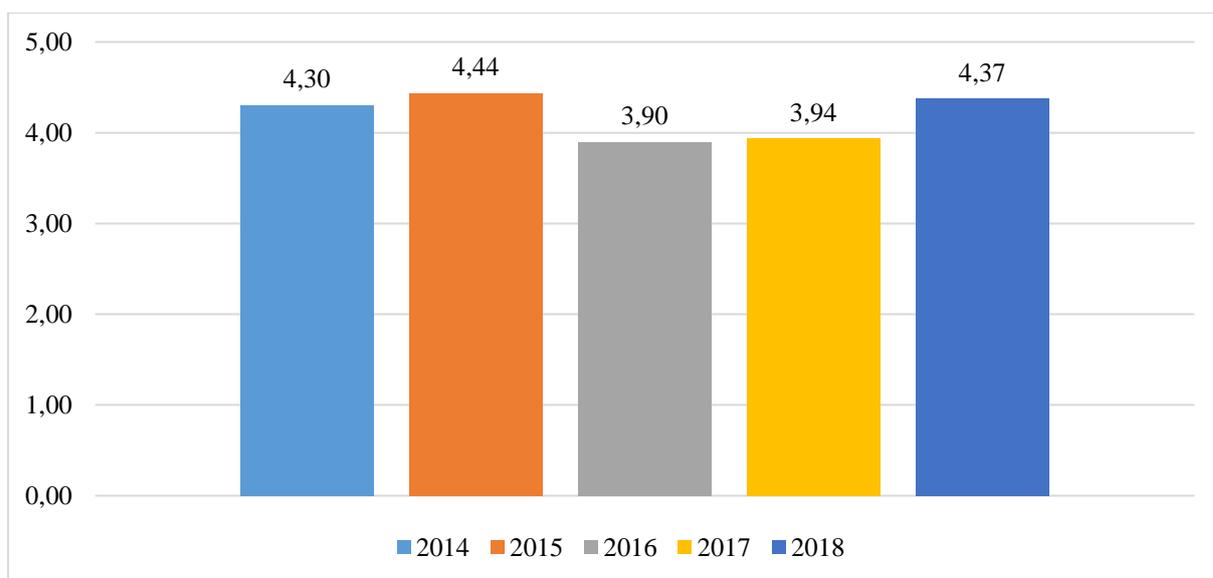


Figura 4 Índice de vazamentos da infraestrutura.

O ILI é a relação entre os volumes de perdas reais e inevitáveis para o sistema de abastecimento. Mensura o quanto o sistema está além do volume de perdas, tecnicamente, possível de ser atingido (QUEVEDO et al., 2012; TARDELLI, 2015).

É importante ressaltar que o ILI não indica que a pressão no sistema seja ótima. Normalmente, é possível diminuir o volume de perdas reais, mas não o ILI, com um gerenciamento eficaz de pressão, pois as perdas inevitáveis também diminuem com o decréscimo da pressão. Essas peculiaridades do ILI justificam as opiniões de que favorece as empresas de distribuição que atuam com altas pressões e não reconhece o mérito das que realizam gerenciamento de pressão (MCKENZIE; SEAGO, 2005).

O ILI indica que as perdas reais sempre acontecerão, mesmo em redes de distribuição bem gerenciadas. Os indicadores de perdas fornecem meios técnicos para analisar perdas de água na operacionalização do sistema, e podem ser utilizados para aferir a eficiência nos planos de minimização de perdas (WINARNI, 2009).

Segundo Merc et al. (2017), o ILI é o indicador mais eficiente para avaliar a situação das perdas no sistema de abastecimento de água. Contudo, sua utilização tem algumas limitações quando o sistema de distribuição não possui dados ou tem dados incorretos para calcular o UARL.

## 5. CONCLUSÃO

Uma necessidade básica para a gestão de perdas de água em uma empresa de abastecimento de água é a coleta de dados precisos e detalhados sobre as condições da rede de distribuição de água. A crescente preocupação das concessionárias de água com a preservação

do meio ambiente, resultou, entre outros fatores, na busca em determinar com precisão e reduzir as perdas de água. O uso de TICs pode auxiliar a coleta de dados e engajar a população na gestão e melhoria do sistema, bem como no uso ético e sustentável dos recursos.

Os indicadores selecionados permitem realizar uma análise preliminar de um sistema de abastecimento, mesmo com escassez de dados. No estudo de caso realizado, avaliando as condições do sistema de abastecimento da CAEMA, o CARL determinou o volume de perdas de água em mais de 80 milhões de m<sup>3</sup>, com percentual de perdas de 66,23%. Assim, as perdas de receita alcançam os R\$ 300 milhões, afetando sobremaneira as finanças da empresa. O UARL foi estimado em aproximadamente 7 milhões de m<sup>3</sup> e o TIRL em 351,67 L<sup>-1</sup>.conexão<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>. Estes últimos, definiram as perdas inevitáveis que ocorrem na rede e por conexão de abastecimento. Já o ILI foi calculado em 4,37, indicando alto nível de vazamentos na infraestrutura da rede de abastecimento.

Os resultados ratificam a ineficiência na gestão de perdas de água na CAEMA, tendo em vista os elevados volumes de perdas de água e receita. Indicam um sistema de distribuição falho e que necessita de ações para diminuição das perdas e abastecimento contínuo. Para aprimoramento do sistema de abastecimento se faz necessário um controle ativo de vazamentos, gerenciamento de pressão, elaboração do balanço hídrico, implantação de distrito de medição e controle (DMA), definição do consumo mínimo noturno (MNF) e do nível econômico de vazamentos para o sistema. Diminuir as perdas de água acarreta no uso consciente e sustentável dos recursos hídricos, menores custos para produção, aumento da receita e fornecimento de qualidade para a população.

## 6. REFERÊNCIAS

AL-WASHALI, T. et al. Monitoring nonrevenue water performance in intermittent supply. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 6, 1 jun. 2019.

AL-WASHALI, T. et al. **Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties, and implications in intermittent supply** *Resources, Conservation and Recycling* Elsevier B.V., , 1 jan. 2020.

AL-WASHALI, T. M.; SHARMA, S. K.; KENNEDY, M. D. Alternative Method for Nonrevenue Water Component Assessment. 2018.

AL-WASHALI, T.; SHARMA, S.; KENNEDY, M. Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review. **Water Resources Management**, v. 30, n. 14, p. 4985–5001, 2016.

ANDRADE SOBRINHO, R.; BORJA, P. C. Gestão das perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 783–795, 2016.

ARREGUI, F. J. et al. Calculation proposal for the economic level of apparent losses (ELAL) in a water supply system. **Water (Switzerland)**, v. 10, n. 12, 9 dez. 2018.

BABIĆ, B. et al. Reducing Uncertainty of Infrastructure Leakage Index – A Case Study. **Procedia Engineering**, v. 89, p. 1577–1584, 1 jan. 2014.

BERARDI, L.; GIUSTOLISI, O. Special Issue on the Battle of Background Leakage Assessment for Water Networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 142, n. 5, p. C2016001, 24 mar. 2016.

BOZTAŞ, F. et al. Analyzing the effect of the unreported leakages in service connections of water distribution networks on non-revenue water. **International Journal of Environmental Science and Technology**, 2018.

CHEONG, L. K.; HSING, O. K.; KHUAN, P. J. Managing the water distribution network with a Smart Water Grid. **Smart Water**, v. 1, n. 1, p. 4, 21 dez. 2016.

CHIRICA, ŞTEFANIA; LUCA, A.-L.; LATEŞ, I. Considerations on Drinking Water Management in the Moldavian Plateau and Plain Region. **Present Environment and Sustainable Development**, v. 12, n. 1, p. 139–147, 2018.

CHRISTODOULOU, S. et al. Risk-based asset management of water piping networks using neurofuzzy systems. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 33, n. 2, p. 138–149, 2009.

FARAH, E.; SHAHROUR, I. Smart water technology for leakage detection: feedback of large-scale experimentation. **Analog Integrated Circuits and Signal Processing**, v. 96, n. 2, p. 235–242, 1 ago. 2018.

FONTANA, M. E. et al. Decision model to control water losses in distribution networks. **Production**, v. 26, n. 4, p. 688–697, 25 jul. 2016.

FRAUENDORFER, R.; LIEMBERGER, R. **The Issues and Challenges of Reducing Non-Revenue Water**. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank, 2010.

GÜNGÖR-DEMIRCI, G. et al. Determinants of non-revenue water for a water utility in California. **Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA**, v. 67, n. 3, p. 270–278, 1 maio 2018.

GÜNGÖR, M.; YARAR, U.; FIRAT, M. Reduction of water losses by rehabilitation of water distribution network. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, n. 10, p. 1–12, 2017.

GUPTA, A.; KULAT, K. D. A Selective Literature Review on Leak Management Techniques for Water Distribution System. **Water Resources Management**, v. 32, n. 10, p. 3247–3269, 2018.

HERRERA, M. et al. **Advanced Hydroinformatic Techniques for the Simulation and Analysis of Water Supply and Distribution Systems**. [s.l.] MDPI - Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2018.

JANG, D. A Parameter Classification System for Nonrevenue Water Management in Water

Distribution Networks. **Advances in Civil Engineering**, 2018.

KUSTERKO, S. et al. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 615–626, 2018.

MAZZOLANI, G. et al. A Methodology to Estimate Leakages in Water Distribution Networks Based on Inlet Flow Data Analysis. **Procedia Engineering**, v. 162, p. 411–418, 1 jan. 2016.

MCKENZIE, R.; SEAGO, C. **Assessment of real losses in potable water distribution systems: some recent developments**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.wrp.co.za>. Acesso em: 29 ago. 2019.

MORAIS, D.; CAVALCANTE, C.; ALMEIDA, A. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. **Pesquisa Operacional**, v. 30, n. 1, p. 15–32, 2010.

MOSER, G.; PAAL, S. G.; SMITH, I. F. C. Performance comparison of reduced models for leak detection in water distribution networks. 2015.

MOY DE VITRY, M. et al. **Smart urban water systems: What could possibly go wrong?****Environmental Research Letters**Institute of Physics Publishing, , 14 ago. 2019.

MUTIKANGA, H. et al. using performance indicators as a water loss management tool in developing countries. **Aqua**, v. 59, p. 15, 2010.

MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Assessment of apparent losses in urban water systems. **Water and Environment Journal**, v. 25, n. 3, p. 327–335, set. 2011.

NICOLINI, M.; GIACOMELLO, C.; DEB, K. Calibration and Optimal Leakage Management for a Real Water Distribution Network. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 137, n. 1, p. 134–142, 2011.

OCIEPA-KUBICKA, A.; WILCZAK, K. **Water Loss Reduction as the Basis of Good Water Supply Companies' Management**. E3S Web of Conferences. **Anais...EDP Sciences**, 23 out. 2017

OCIEPA, E.; MOLIK, R.; LACH, J. **Assessment of water loss level on the example of selected distribution systems**. E3S Web of Conferences. **Anais...EDP Sciences**, 3 jul. 2018

OCIEPA; MROWIEC; DESKA. Analysis of Water Losses and Assessment of Initiatives Aimed at their Reduction in Selected Water Supply Systems. **Water**, v. 11, n. 5, p. 1037, 17 maio 2019.

OVIEDO-OCAÑA, E. R. et al. Water-Loss Management under Data Scarcity: Case Study in a Small Municipality in a Developing Country. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 146, n. 3, 1 mar. 2020.

ÖZDEMİR, Ö. Water leakage management by district metered areas at water distribution networks. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 4, p. 1–10, 2018.

PALAU, C. V.; ARREGUI, F. J.; CARLOS, M. Burst Detection in Water Networks Using Principal Component Analysis. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 138, n. 1, p. 47–54, 29 jan. 2011.

PIETRUCHA-URBANIK, K. Failure analysis and assessment on the exemplary water supply network. **Engineering Failure Analysis**, v. 57, p. 137–142, 1 nov. 2015.

QUEVEDO, J. et al. Methodology to Detect and Isolate Water Losses in Water Hydraulic Networks: Application to Barcelona Water Network. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 45, n. 20, p. 922–927, 2012.

TARDELLI, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. **Revista DAE**, v. 64, n. 201, p. 6–20, 2015.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. **Water Loss Control**. 2º ed. EUA: [s.n.].

TROJAN, F.; MORAIS, D. C. Maintenance management decision model for reduction of losses in water distribution networks. **Water Resources Management**, v. 29, n. 10, p. 3459–3479, 2015.

WANG, Y. et al. Prediction Models for Annual Break Rates of Water Mains. v. 23, n. 1, p. 47–54, 2009.

WINARNI, W. Infrastructure Leakage Index (ILI) as Water Losses Indicator Note from the Editor. **Civil Engineering Dimension**, v. 11, n. 2, p. 126–134, 2009.

WU, Z. Y. et al. **Pressure-Dependent Leakage Detection Method Compared with Conventional Techniques**. American Society of Civil Engineers (ASCE), 5 jan. 2012

WYATT, A.; ALSHAFFEY, M. **Non-revenue water: Financial model for optimal management in developing countries - Application in Aqaba, Jordan** **Water Science and Technology: Water Supply** IWA Publishing, , 2012.

XU, Q. et al. Review on water leakage control in distribution networks and the associated environmental benefits. **Journal of Environmental Sciences (China)**, v. 26, n. 5, p. 955–061, 2014.