



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA – CUVG
ENGENHARIA QUÍMICA

ANNE ELISE FERNANDES PELEGRINI

**ANÁLISE DE VAZAMENTOS DE ÁGUA NOS BAIROS ABASTECIDOS
PELO RESERVATÓRIO APOIADO INPE EM CUIABÁ/MT**

Várzea Grande
2024

ANNE ELISE FERNANDES PELEGRINI

**ANÁLISE DE VAZAMENTOS DE ÁGUA NOS BAIRROS ABASTECIDOS
PELO RESERVATÓRIO APOIADO DO INPE EM CUIABÁ/MT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Mato Grosso como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof.^a Dra. Agnes Cristina Oliveira Mafra

**Várzea Grande
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

P381a Pelegrini, Anne Elise Fernandes Pelegrini.
ANÁLISE DE VAZAMENTOS DE ÁGUA NOS
BAIRROS ABASTECIDOS PELO RESERVATÓRIO
APOIADO INPE EM CUIABÁ/MT [recurso eletrônico] /
Anne Elise Fernandes Pelegrini Pelegrini. -- Dados
eletrônicos (1 arquivo : 48 f., il. color., pdf). -- 2024.

Orientadora: Agnes Cristina Oliveira Mafra Mafra.
TCC (graduação em Engenharia Química) -
Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de
Engenharia, Várzea Grande, 2024.

Modo de acesso: World Wide Web:
<https://bdm.ufmt.br>.
Inclui bibliografia.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

ANNE ELISE FERNANDES PELEGRINI

**ANÁLISE DE VAZAMENTOS DE ÁGUA NOS BAIROS ABASTECIDOS
PELO RESERVATÓRIO APOIADO DO INPE EM CUIABÁ/MT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Mato Grosso como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Várzea Grande, 18 de abril de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Agnes Cristina Oliveira Mafra
Doutora em Engenharia Química

Prof. Dr. Paulo Henrique Souza Almeida
Doutor em Engenharia Química

Prof. Dr. William Costa e Silva
Doutor em Engenharia Química

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar fé e força para realizar este sonho.

Agradeço aos meus pais, irmãos e cunhada, Sidiney, Angélica, Náthalye, Sidiney Junior e Renata, por sempre me oferecerem suporte, apoio, condições para alcançar meus objetivos, a presença não importando o que houvesse e o maior amor do mundo.

Aos meus amigos da graduação, Emanuel, Emily, Felipe e Stephany, que hoje são além de amigos de faculdade e colegas de profissão, são também os meus melhores amigos. Nesses longos anos, foram parceiros fiéis, me salvando em momentos difíceis e me proporcionando a motivação necessária para seguir em frente e chegar até aqui.

À minha avó Vanda (*in memoriam*), que foi um exemplo de mulher batalhadora e guerreira, que lutou pelos seus e meus direitos como mulher, que incentivou todas as mulheres da família a estudarem e serem independentes.

À minha família, que mesmo distante, sempre foram apoio, por terem ajudado e acreditado em mim, apesar dos momentos mais desafiadores e que eu mesma desacreditei. Por serem quem são e me proporcionarem risadas, brincadeiras, discussões barrelas e apelidos toscos, vocês são essenciais na minha vida.

Aos meus professores desses cinco anos de graduação que contribuíram para que eu conseguisse realizar esse sonho, vocês foram fundamentais para o meu crescimento e todo aprendizado.

A Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, que foi em diversos momentos uma segunda casa e por todo acolhimento durante esse período.

Aos meus colegas de trabalho, que contribuíram significativamente para a minha formação profissional, transmitindo todo o conhecimento que podiam e ajudando a construir esse trabalho.

À minha orientadora, Agnes Mafra, que não só me guiou academicamente, mas também me ofereceu todo suporte, auxílio e, mais importante, acreditou no impossível.

Aos meus amigos do colégio para vida, Ana Carmen, Emilly, Fernanda, Fábio, Gabriel, Julia e Thiago, por serem os melhores amigos que eu poderia ter, ajudando a distrair a cabeça nos momentos de pressão e sempre estarem ao meu lado.

RESUMO

A água desempenha um papel fundamental em diversas atividades, desde funções fisiológicas essenciais no organismo humano até processos industriais em larga escala, tornando imperativo que sua distribuição ocorra seguindo os padrões de qualidade estabelecidos, sendo realizado posteriormente o devido tratamento. No entanto, a crise hídrica é um desafio global que evidencia a necessidade urgente de controlar o desperdício desse recurso. Nesse contexto, as perdas de água durante o processo de distribuição é um problema com proporções significativas, especialmente em áreas urbanas como Cuiabá, que enfrenta uma alarmante taxa de perda de água, chegando a aproximadamente 50%. Diante desse cenário, torna-se crucial compreender e mitigar essas perdas, visando uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos. O presente estudo buscou analisar os vazamentos de água nos bairros abastecidos pelo reservatório apoiado Inpe, no município de Cuiabá. A metodologia empregada incluiu a elaboração de um mapa de calor para identificar os locais mais impactados por vazamentos nessa região. Além disso, foram confrontados os dados disponíveis sobre os materiais empregados nas redes de distribuição, o ano de instalação dessas redes e o tempo necessário para a execução dos reparos ao longo do ano de 2023. Os resultados obtidos revelam a importância de empregar materiais mais eficazes para essa região, bem como a urgência da instalação de redes novas, visto que maior taxa de vazamento foram em redes mais antigas. Além disso, ressaltam a necessidade de implementar um plano de ação abrangente para aprimorar o processo de distribuição de água, incorporando estratégias como o gerenciamento de infraestrutura, controle ativo de vazamentos, setorização da região, gerenciamento de pressão e assegurando agilidade e qualidade nos reparos. A análise dos materiais utilizados nas redes de distribuição evidenciou que certos tipos de materiais demonstraram maior resistência e menor propensão a vazamentos, enfatizando a importância de investir em materiais de alta qualidade para garantir a durabilidade e eficiência das redes. Ademais, ao identificar os locais mais impactados por vazamentos através do mapa de calor, foi possível observar de forma mais ágil o bairro com a maior incidência de vazamentos, sendo constatado que este bairro não possui uma setorização claramente definida. Em resumo, o estudo enfatizou a necessidade de implementar melhorias para mitigar as perdas de água no processo de distribuição. A aplicação de algumas dessas abordagens na região estudada evidenciou o impacto positivo dessas estratégias, refletido no fato de que os reparos realizados nessa área representaram apenas 5% do total de intervenções feitas no município de Cuiabá ao longo de 2023.

Palavra-chave: Perda de água; Vazamento; Melhorias; Distribuição de água.

ABSTRACT

Water is indispensable for a multitude of activities, encompassing critical physiological functions in humans and large-scale industrial operations. Consequently, ensuring its distribution adheres to established quality standards and undergoes appropriate treatment is imperative. Nonetheless, the global water crisis underscores the urgent necessity to minimize resource wastage. Within this framework, water losses during distribution emerge as a significant challenge, particularly in urban centers such as Cuiabá, where the water loss rate is alarmingly high, estimated at around 50%. Consequently, understanding and mitigating these losses becomes paramount, aiming to enhance the efficiency of water resource management. This study aimed to scrutinize water leakage in neighborhoods serviced by the supported reservoir Inpe, situated within the municipality of Cuiabá. Methodologically, it involved devising a heat map to pinpoint areas most impacted by leaks in this region. Additionally, pertinent data on distribution network materials, installation timelines, and repair durations throughout 2023 were juxtaposed. Findings underscored the significance of deploying more efficacious materials and expediting the installation of novel networks, given the observed higher leakage rates in aging networks. Moreover, they underscored the necessity for a comprehensive action plan to enhance the water distribution process, encompassing infrastructure management, active leak control, region zoning, pressure management, and ensuring expeditious and high-quality repairs. The analysis of distribution network materials elucidated certain types exhibiting greater resilience and lower susceptibility to leaks, underscoring the imperative of investing in superior-quality materials to bolster network durability and efficiency. Furthermore, by discerning leak-prone locations via the heat map, it became feasible to promptly identify the neighborhood harboring the highest leak incidence, with notable deficiencies in zoning delineation. In essence, the study underscored the exigency of implementing enhancements to alleviate water losses in the distribution process. The application of these approaches in the study locale evidenced their positive impact, as repairs conducted in this area accounted for a mere 5% of the total interventions undertaken in the municipality of Cuiabá throughout 2023.

Keyword: Water loss; Leak; Improvements; Water distribution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas do sistema de abastecimento de água.....	13
Figura 2: Tipos de reservatórios.	14
Figura 3: Esquema de rede ramificado.	15
Figura 4: Esquema de rede ramificada com traçado espinha de peixe e em grelha, respectivamente..	15
Figura 5: Componentes de perdas reais	19
Figura 6: Mapa do estado de Mato Grosso com a área de estudo selecionada.....	26
Figura 7: Mapa de Cuiabá com os bairros abastecidos pelo Reservatório Apoiado Inpe selecionados..	27
Figura 8: Mapa de Calor dos vazamentos nos bairros abastecidos pelo reservatório apoiado Inpe.....	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Perdas de água por ano em Cuiabá em porcentagem..	18
Gráfico 2: Perfil dos diâmetros das redes na região abastecida pelo RAP Inpe.	31
Gráfico 3: Quantidade de consertos por diâmetro de rede nos bairros abastecidos pelo RAP Inpe..	32
Gráfico 4: Perfil do material da rede de distribuição dos bairros abastecidos pelo RAP Inpe.	33
Gráfico 5: Relação do ano de instalação com a extensão de rede para as tubulações de ferro fundido..	34
Gráfico 6: Relação do ano de instalação com a extensão de rede para as tubulações de ferro fundido modificado.	34
Gráfico 7: Relação do ano de instalação com a extensão de rede para as tubulações de PVC.	35
Gráfico 8: Relação do ano de instalação com a extensão de rede para as tubulações de PEAD.....	35
Gráfico 9: Quantidade de consertos de vazamentos realizados por material de rede.	36
Gráfico 10: Quantidade de cada tipo de válvula nos bairros abastecidos pelo RAP Inpe.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de reparos realizados no ano de 2023 na cidade de Cuiabá para cada categoria.....	28
Tabela 2: Quantidade de reparos realizados no ano de 2023 nos bairros abastecidos pelo reservatório INPE para cada categoria.....	28
Tabela 3: Relação da taxa de quebra por ano a cada 100km por material de rede..	38
Tabela 4: Tempo médio de execução para cada serviço e no geral.	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CA	Cimento Amianto
CPA	Centro Político Administrativo
DEFoFo	Ferro Fundido Revestido com Polietileno
DGE	Directorate General Environment
EEA	Estação Elevatória de Água
FoFo	Ferro Fundido
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IWA	International Water Association
m	metros
mm	milímetros
NBR	Norma Brasileira
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PVC	Policloreto de Vinila
RAP	Reservatório Apoiado
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNS	Secretaria Nacional de Saneamento
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
SWAN	Smart Water Networks
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
USGS	United States Geological Survey's
VRP	Válvula Redutora de Pressão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
	1.1 JUSTIFICATIVA	9
	1.2 OBJETIVO	9
	1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
	2.1 Tratamento de Água.....	11
	2.2 Distribuição de água	12
	2.3 Perdas no sistema de abastecimento de água	16
	2.3.1 <i>Fatores para ocorrência de vazamentos de água</i>	19
	2.4 Melhorias de perda de água no processo de distribuição	22
3	METODOLOGIA.....	26
	3.1 Área de estudo.....	26
	3.2 Dados de vazamento	27
	3.3 Mapa de calor	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
5	CONCLUSÃO.....	41
6	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	44
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

A água é um componente de extrema importância para o corpo humano, em que participa de diversos processos fisiológicos do organismo, de maneira que o consumo adequado de água para cada pessoa varia de acordo com a idade, sexo e o peso corporal (Salvadó *et al.*, 2020). Além disso, a água também é utilizada para higiene pessoal, alimentício, industrial, limpeza doméstica, agrícola etc. (Damke; Pasini, 2020). Dessa forma, existe a preocupação referente a qualidade da água para que a saúde da população e a economia não sejam afetadas, sendo assim, o saneamento básico é a chave para assegurar isso, o qual por meio deste é realizado o tratamento através de etapas de Coagulação, Floculação, Decantação, Filtração, Desinfecção e Fluoretação que garantem a excelência da água, e posteriormente após passar pelo teste de qualidade, é realizada a distribuição de água feita através das tubulações principais que podem abastecer reservatórios ou outras tubulações secundárias e ramais de ligação direcionadas as unidades consumidoras (Heller; Pádua, 2010).

A gestão de recursos hídricos é um desafio enfrentado na atualidade, em que atrelado ao crescimento urbano vê-se a necessidade de se ter um sistema de abastecimento de água eficaz em busca de que toda população tenha acesso a esse bem, de forma que seja econômico e sustentável, visando o não desperdício e perdas de água (Silva *et al.*, 2017).

As perdas hídricas podem ser reais ou aparentes, em que as perdas reais consistem na não entrega efetiva ao consumidor devido ocorrência de vazamentos no processo de captação ou distribuição. Por outro lado, as perdas aparentes referem-se à água efetivamente consumida, entretanto, não é faturada, uma vez que há erros nos medidores e/ou fraudes nos ramais de ligações dos clientes (Thornton; Sturm; Kunkel, 2008).

Dito isso, a problemática das perdas de água é um fator global, sendo que em alguns países a taxa de água sem receita pode ser menor comparado aos outros, como em Dublin na Irlanda e Lima no Peru possuem uma estimativa de 40%, já em Toronto no Canadá e Nova Iorque no EUA possuem somente 10%,

porém, nota-se que em todos ainda existe um índice de perdas de água (SWAN, 2011).

De acordo com Oliveira, Scazufca e Sayon (2023), o Brasil em 2021 registrava um índice de perdas no faturamento total de 40,9%. Essa cifra coloca o país em uma posição mais próxima do Uruguai, que apresentou um índice ainda mais alarmante de 51%, do que da Bolívia, que registrou 27% de perdas. Essa comparação evidencia a preocupante situação do Brasil em relação às perdas de água, destacando a urgência em enfrentar esse problema.

1.1 Justificativa

Apesar de a Terra possuir 70% de água em sua composição, esse recurso precioso é finito, conforme alertado pela UNESCO (2015) que prevê que o planeta enfrentará uma escassez de água de 40% até 2030 caso não seja realizado uma gestão eficiente desses recursos. Portanto, o uso responsável da água é crucial para evitar consequências irreversíveis, dessa forma, é imperativo discutir os fatores que contribuem para as perdas de água em determinadas regiões e buscar os melhores métodos de melhoria. Analisando o cenário da capital do Mato Grosso, Cuiabá, o índice de perdas no faturamento de água atingiu 49,7%, indicando que praticamente metade da água produzida, tratada e distribuída não está sendo consumida, resultando em prejuízos financeiros para a empresa de saneamento e demonstrando que o seu estudo é especialmente importante para evitar desperdícios, como o por vazamentos, os quais podem ser reduzidos a taxas mínimas (Oliveira; Scazufca; Sayon, 2023).

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é conduzir uma análise das perdas de água decorrentes de vazamentos no processo de distribuição nos bairros abastecidos a partir do reservatório Inpe. A seleção desses bairros foi baseada na setorização, visando facilitar o acesso às informações e aumentar a precisão da pesquisa.

1.3 Objetivos específicos

O foco será compreender a quantidade de reparos realizados nessa região, utilizando a montagem de um mapa de calor. Pretende-se também investigar os possíveis motivos por trás desse alto índice de vazamentos, levando em consideração as características dos materiais e acessórios da rede, o uso de válvulas e as perdas de pressão que ocorrem no local. Além de compreender quais os possíveis métodos de melhorias no sistema de abastecimento para mitigar os efeitos da perda de água.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Tratamento de Água

A água é um composto químico representado por dois átomos de hidrogênio e uma de oxigênio, podendo estar em diferentes estados físicos da matéria, como sólido, líquido ou gás. Essa molécula é de suma importância para sociedade, uma vez que é um componente essencial para vida humana, responsável pelo transporte de nutrientes e resíduos, além disso, possui um papel crucial para agricultura, indústria, turismo, meio ambiente e no abastecimento de água potável, em que para realizar a distribuição dessa água é necessário tratar para ser viável ao consumo humano (USGS, 2022).

O tratamento da água potável inicia com a captação nos mananciais o qual é distribuído por uma adutora até a estação de tratamento, posteriormente é realizado a potabilização da água, uma vez que a água captada pode conter resíduos orgânicos, sais dissolvidos, metais pesados, partículas em suspensão e/ou microrganismos (Siqueira *et al.*, 2020). Dessa forma, o processo de tratamento possui as seguintes etapas em sua maioria: Coagulação, Floculação, Decantação, Filtração, Desinfecção e Fluoretação.

A primeira etapa é caracterizada pela adição de um composto químico conhecido como coagulante com o objetivo de aglutinar as partículas coloidais, uma vez que essas estarão eletricamente desestabilizadas (Siqueira *et al.*, 2020). De acordo com a instrução de Pinto *et al.*, (2023), as próximas etapas ocorrem dessa forma: na floculação, é feita a agitação constante e suave para produzir flocos maiores através das partículas coaguladas. A decantação é o processo que as partículas floculadas e coaguladas se separam da água devido a densidade, em que os flocos são sedimentados ao fundo pela ação gravitacional, essa etapa permite que a água superficial esteja mais clara e possa escoar até a próxima fase. Apesar da decantação clarificar a água, ainda resta impurezas, sendo necessário uma etapa de filtração através de um meio filtrante, de modo que retenha todas as partículas indesejáveis, como bactérias e vírus, o material da camada filtrante é alternativo para cada estação de tratamento, podendo ser areia, cascalho ou carvão ativado e tendo uma

granulometria pré-dimensionada (Pinto *et al.*, 2023). No livro de Heller e Pádua (2010), a filtração visa remover todos os componentes nocivos, como explicado anteriormente, entretanto, pode haver ainda indícios de matérias prejudiciais à saúde, sendo assim, é realizado o procedimento de desinfecção que é desenvolvido para inativar os microrganismos patogênicos, esse processo é feito através da adição de produtos químicos, em que o mais utilizado é o cloro. A última etapa do tratamento de água, fluoretação, é uma medida de saúde pública, uma vez que é aplicado o ácido fluorsilícico a fim de reduzir a taxa de cárie dentária na população (Heller; Pádua, 2010).

Conforme determinado pela Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde, são estabelecidos procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água destinada ao consumo humano e sua potabilidade. Esses procedimentos definem as responsabilidades de cada órgão envolvido, incluindo a empresa provedora, que deve aderir aos padrões determinados por esta portaria. O objetivo é garantir, por meio das etapas mencionadas, que o recurso hídrico seja seguro para a população. Além disso, cabe aos órgãos federais a responsabilidade de fiscalizar, controlar e verificar se a água fornecida está em conformidade com as normas estabelecidas.

2.2 Distribuição de água

O processo de distribuição de água começa após a conclusão do tratamento, no qual o fluido é transferido através das adutoras de água tratada para os reservatórios. Conforme mencionado por Tsutiya (2006), esses reservatórios são utilizados para regularizar as vazões, acumulando água nos momentos de menor demanda e garantindo suprimento durante picos de procura na região abastecida. Eles também desempenham um papel crucial na segurança do abastecimento, agindo em emergências, como rupturas na rede adutora, problemas elétricos ou paralisações na captação. Além disso, de acordo com o mesmo autor, os reservatórios influenciam na variação de pressão nas redes, proporcionando um maior controle e contribuindo para a redução das perdas de água. De acordo com a NBR 12.217, o material designado para os projetos de reservatórios é determinado através de estudo técnico e econômico que avalie os materiais que têm no local com maior facilidade, as condições de

instalação no ambiente e o impacto do armazenamento de água e o do ar atmosférico (ABNT, 1994).

A figura abaixo demonstra todas as etapas desde a captação de água até a distribuição de água que exemplifique como funciona o procedimento ao todo.

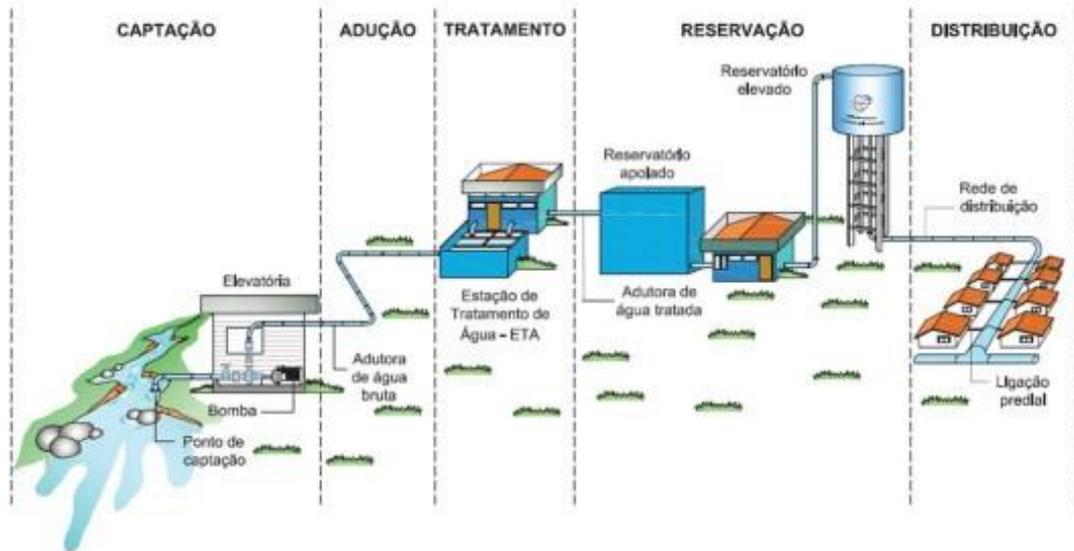


Figura 1 - Etapas do sistema de abastecimento de água.
Fonte: Funasa, 2015.

Os reservatórios são classificados de acordo com a sua localização, podendo ser divididos em quatro classificações: reservatório enterrado, semienterrado, apoiado (RAP) e elevado, a figura 2 exemplifica cada um. Os autores Heller e Pádua (2010) descrevem da seguinte forma:

- Reservatório enterrado: situa-se integralmente em cota inferior ao do terreno onde está situado;
- Reservatório semienterrado: reservatório que se encontra pelo menos um terço de sua altura total abaixo do nível do terreno o qual está instalado;
- Reservatório apoiado: possui sua base localizada a uma profundidade menor que um terço de sua altura total abaixo do nível do terreno em que se encontra;
- Reservatório elevado: reservatório em que seu fundo se encontra superior a cota do terreno que está posicionado.

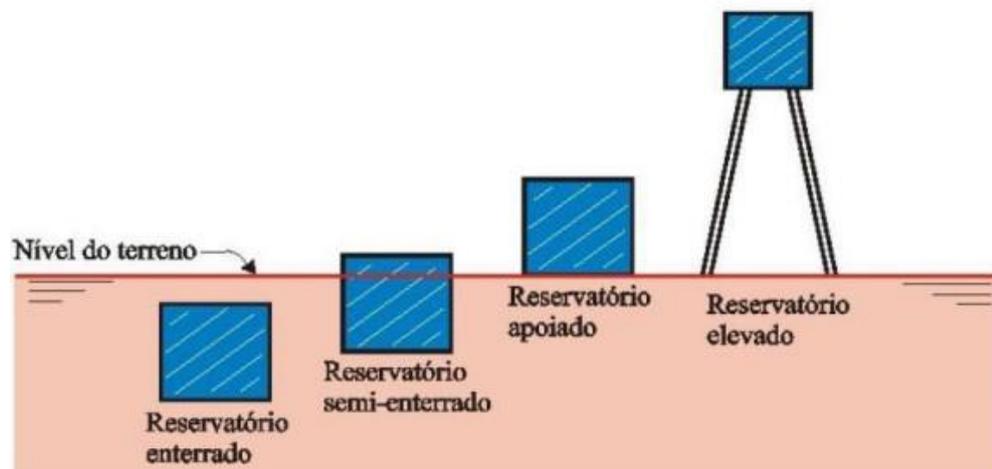


Figura 2 - Tipos de reservatórios.
Fonte: Alem Sobrinho e Martins, 2004.

Após a reservação de água ocorre a distribuição de água através das redes, Tsutiya (2006) explica que esses encanamentos fazem parte do sistema de abastecimento por meio de tubulações e acessórios com objetivo de disponibilizar água tratada com qualidade e pressões apropriadas.

As redes de distribuição e as ligações prediais podem não ser constantemente vigiadas, devido serem na maioria dos casos não visíveis e de difícil acesso por serem subterrâneas, porém, é um componente do sistema de abastecimento que deve ter muita atenção, uma vez que interfere diretamente ao consumidor, além de que pode influenciar na qualidade da água e influir na quantidade de perda de água (Tsutiya, 2006).

No livro de Heller e Pádua (2010) é definido que as canalizações para distribuição de água podem ser divididas em duas: principal e secundária, em que a primeira é conhecida como o conduto tronco o qual possui maior diâmetro e é responsável para abastecer a tubulação secundária, enquanto a segunda tem menor diâmetro e sua funcionalidade é fornecer a água para os consumidores, além disso, essa canalização secundária é classificada em três formatos de rede de distribuição: ramificada, malhada e mista (Heller; Pádua, 2010). Pela descrição de Tsutiya (2006), a rede ramificada é quando uma tubulação tronco é abastecida através de um reservatório ou estação elevatória e a distribuição realizada diretamente até as secundárias, em que pode ser dividida em espinha de peixe, é derivado outras redes principais a partir do conduto primário em formato de ramificações, ou em grelha, que as tubulações

principais são consideravelmente paralelas e abastecidas pela extremidade por outra canalização principal. Enquanto para ser considerado uma rede malhada, o mesmo autor define que é necessário que a tubulação primária seja composta por redes principais formando anéis ou blocos, podendo abastecer qualquer posição do sistema. Por último, a rede mista é a junção dos dois modelos de rede, ramificada e malhada (Tsutiya, 2006).

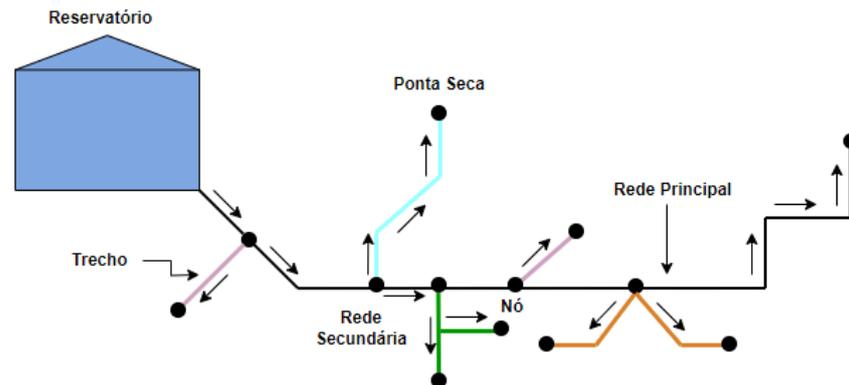


Figura 3 - Esquema de rede ramificada.
Fonte: Adaptado de Tsutiya, 2006.

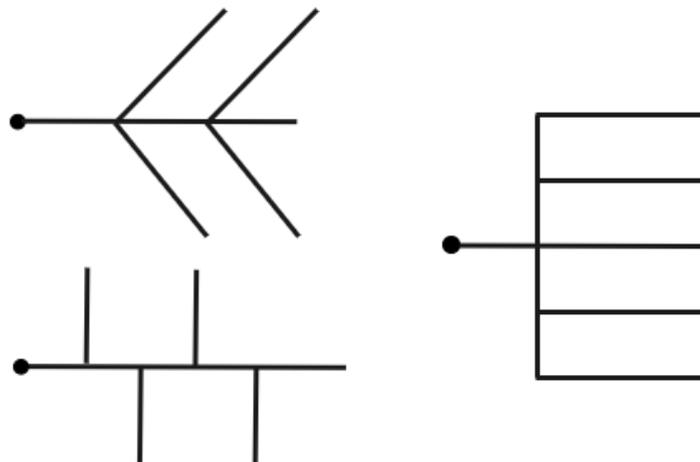


Figura 4 - Esquema de rede ramificada com traçado espinha de peixe e em grelha, respectivamente.
Fonte: Adaptado de Tsutiya, 2006.

Os ramais são tubulações de pequenos diâmetros cujo principal objetivo é transportar a água da rede de distribuição até os consumidores, de modo que sua direção é da rua a propriedade que se encontra um cavalete com hidrometria para contabilizar o consumo por unidade (Sarzedas, 2009).

Além disso, existem alternativas para realizar o fornecimento de água para as redes de distribuição, em que elas podem ser através dos reservatórios

já mencionados e/ou estação elevatória de água (EEA) com bombas de rotação constante ou variável (Tsutiya, 2006).

Os autores Heller E Pádua (2010) descrevem que em casos de necessidade de interrompimento no abastecimento em uma região, há uma subdivisão da rede de distribuição, o setor de manobra, que sua utilidade é permitir o isolamento de uma área da tubulação em momentos de obras, reparos ou manutenção, através de uma válvula de manobra abrangendo um intervalo de 7000 a 35000 metros de extensão de rede, em que será suspenso o abastecimento somente dessa seção. Outra parte da rede de distribuição, é o setor de medição, que possui o objetivo de acompanhar o desenvolvimento do consumo de água para as economias envolvidas e avaliar qual é a perda de carga e de água nesse sistema de abastecimento por meio de medidores de pressão e micro e macromedidores de vazão (Heller; Pádua, 2010).

No comprimento das tubulações existem outras duas peças úteis para o sistema de abastecimento, válvula de descarga e redutora de pressão. O registro de descarga tem a finalidade de retirar a água da rede de distribuição, permitindo a limpeza das canalizações e/ou a realização de serviços de manutenção, de modo que são instalados ao fim do curso de água para que seja esvaziado o maior número de tubulações (Heller; Pádua, 2010). A válvula redutora de pressão (VRP) é utilizada para reduzir a pressão de montante a uma pressão constante de jusante, de modo que seja ajustada a valores pré-estabelecidos para que o sistema abasteça também as zonas baixas (Tsutiya, 2006).

2.3 Perdas no sistema de abastecimento de água

O sistema de abastecimento de água pode haver perda em todas as suas etapas, desde a captação e adução da água bruta, tratamento, adução e reservação de água tratada e no processo de distribuição. Essas perdas são divididas em perdas reais e perdas aparentes, também conhecido como, respectivamente, perdas físicas e perdas não-físicas (Heller; Pádua, 2010). A primeira se trata do volume de água que foi produzido, entretanto, o produto não é destinado aos consumidores, uma vez que há ocorrências de vazamento nas adutoras, ramais destinados a ligação a unidade consumidora, redes de distribuição e/ou extravasamentos de reservatórios. O segundo tipo de perda,

corresponde ao volume de água que é consumido, porém, não é contabilizado, devido a erros nas medições em hidrômetros, macro ou micromedidores, ligações clandestinas e/ou erros no cadastro técnico da companhia de saneamento (Thornton; Sturm; Kunkel, 2008).

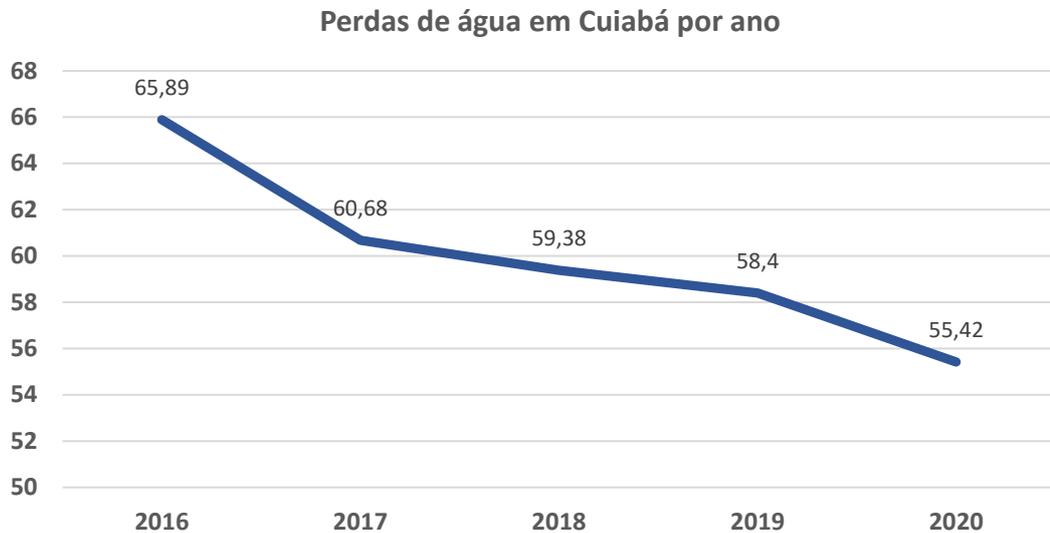
A existência de perdas reais gera um impacto direto no custo de produção e na demanda hídrica, uma vez que requer maior investimento em material químico, energia para distribuir, equipes de manutenção de água, gastos com equipamentos e sua manutenção, utilização de outras fontes de abastecimento para sanar esse imbróglio. As perdas aparentes influenciam no faturamento da companhia, pois como há consumo da água produzida, entretanto, não possui retorno econômico, ocorre redução dos recursos que gerariam melhora para o sistema de abastecimento, seja através de manutenções ou substituições nas instalações (Oliveira; Scazufca; Sayon, 2023).

A Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) apresenta uma pesquisa referente ao diagnóstico dos serviços de água e esgoto através das informações do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), de modo que possui um indicador de perdas de água no sistema de distribuição, sendo composta por três índices: índice de perdas por ligação, índices de perdas na distribuição (IPD) e índice bruto de perdas lineares (SNIS, 2020).

De acordo com o estudo de Oliveira, Scazufca e Sayon (2023), o Brasil apresentou em 2021 uma perda no faturamento total de 40,9% e perda de água na distribuição de 40,25%. Sendo que, o considerado como padrão de excelência determinado pela SNIS de 2021 é no máximo 25%. Além disso, o mesmo estudo apresentou a percentagem de perda de água na distribuição de todas as capitais do Brasil do ano de 2016 a 2020, em que no último ano da pesquisa a perda média de água dessas cidades eram de 45,4%.

Na pesquisa de Oliveira, Scazufca e Sayon (2023), apresenta os dados referente a perdas de água durante o processo de distribuição para a capital do Mato Grosso, em que a pesquisa inicia em 2016 com Cuiabá tendo 65,89% de perda no processo de distribuição, segue em 2017 com 60,68%, em 2018 com 59,38%, em 2019 foi de 58,4% e no último ano que disponibilizou os dados, 2020, finalizou-se com 55,42%. Logo, nesses quatros anos houve uma redução

de aproximadamente 11,4% no índice de perdas, porém, esses números ainda demonstram que há muito o que melhorar.



*Gráfico 1 - Perdas de água por ano em Cuiabá em porcentagem.
Fonte: Adaptado de Oliveira, Scazufca e Sayon (2023).*

De acordo com Thornton, Sturm e Kunkel (2008), as perdas reais podem ser classificadas em três categorias distintas: vazamentos visíveis, vazamentos não visíveis e vazamentos inerentes. Os vazamentos visíveis são prontamente identificáveis, uma vez que causam interrupção no abastecimento e são facilmente perceptíveis pela população, resultando em ações urgentes para sua resolução. Por outro lado, os vazamentos não visíveis são aqueles que não são reportados pelos clientes ou por outros meios, muitas vezes devido à sua menor magnitude, sendo necessária a utilização de equipamentos acústicos para sua detecção. Por fim, os vazamentos de fundo referem-se a fluxos muito baixos que geralmente ocorrem em acessórios das tubulações, sendo particularmente desafiadores de detectar com equipamentos específicos. Frequentemente, esses vazamentos podem se intensificar ao longo do tempo, evoluindo possivelmente para um vazamento relatado.



Figura 5 - Componentes de perdas reais
Fonte: Melato, 2010.

Existem métodos que avaliem a perda de água no sistema de abastecimento, sendo o método de balanço hídrico e método das vazões mínimas noturnas, em que ambos são considerados importantes e complementares (Cunha, 2007). O primeiro método é calculado as perdas físicas de água através de dados dos macros e micromedidores (Barreto, 2006). Em relação a segunda técnica é calculado o consumo no período da noite, sendo ele considerado a vazão mínima noturna, de modo que como há baixo uso de água uma parte desse valor refere-se ao número de vazamento, em que como a pressão nas redes nesse período é maior comparado ao dia há maior taxa de vazamento, sendo possível calcular o volume médio diários de vazamento a partir de um fator noite/dia (horas por dia) que ao multiplicar pela vazão de vazamento obtém esse valor (SNSA, 2009).

2.3.1 Fatores para ocorrência de vazamentos de água

A International Water Association (IWA, 2002) apresenta que as perdas de água no sistema de distribuição se tornaram uma das maiores preocupações do século para todo o mundo. Dessa forma, o vazamento de água é um dos principais fatores que acarretam o elevado índice de perda de água, logo, é necessário diagnosticar o problema para assim poder resolvê-lo.

A característica da tubulação é um fator predominante, de modo que a rede de distribuição é um componente de alto custo na implantação de um sistema de abastecimento de água, podendo remeter-se de 50 a 75% do investimento total do projeto (Tsutiya, 2004). Sendo assim, não há possibilidade de substituir as redes implantadas dentro de um pequeno intervalo de tempo devido ao custo financeiro ser elevado, além disso, pode-se determinar qual a idade das tubulações através do seu material (Sarzedas, 2009).

Segundo Morris Jr. (1966) existem várias razões que podem agir juntamente ou individual na ocorrência de vazamentos, sendo essas citadas: projeto incorreto, instalação inadequada, transientes hidráulicos (golpe de aríete), movimentação do solo, corrosão interna ou externa, diferencial de temperatura, defeitos de fabricação/material e impactos.

O material das redes de distribuição precisa ter uma boa resistência para aguentar a pressão estática e dinâmica, mas também outros fatores, como as variações de pressões e golpe de aríete que é ocasionado pela súbita abertura ou fechamento de válvulas ou bombas, ou também as causas externas, o peso de terra e o trânsito sob as tubulações, logo, elas precisam ser capazes de resistirem a todas essas aplicações, de modo que não sofra de rupturas ou esmagamentos (Tsutiya, 2006).

Segundo Shamir e Howard (1979) existem quatros principais motivos para ruptura na rede de abastecimento, sendo elas:

- I. Qualidade e idade dos tubos e acessórios ou conectores da rede;
- II. Ambiente em que é inserido a rede, como a corrosividade do solo ou carga externa;
- III. Qualidade da mão de obra utilizada para a finalização da tubulação;
- IV. Condições operacionais que a rede é submetida, por exemplo, pressão ou o golpe de aríete.

A idade da rede pode ser considerada uma das causas para os vazamentos de água, entretanto, pode ser que a prática de fabricação interfira mais do que a própria idade de instalação, de modo que as tubulações mais antigas são consideradas mais resistentes quando comparadas as mais novas (Andreou; Marks; Clark, 1987; Sarzedas, 2009).

Os vazamentos nos ramais de ligação são considerados outro aspecto importante, em que é amplamente utilizado os tubos de polietileno de alta densidade (PEAD) preto que são considerados de baixa qualidade, dessa forma, é necessário que ao invés de realizar somente o conserto das ligações seja feito a substituição do ramal atendendo aos parâmetros adequados, como a utilização de PEAD soldável.

De acordo com Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES, 2015) as tubulações de ferro fundido não revestido que são consideradas antigas apresentam crostas e corrosão que geram o aumento da perda de carga no sistema e exigem assim maior pressão, como também pode haver problemas nos acessórios da rede que podem maximizar a existência de vazamentos, entretanto, as redes mais novas também estão sujeitas a rupturas, uma vez que há a possibilidade de terem sido mal dimensionadas ou terem uma má execução (ABES, 2015). Em relação as redes de ferro fundido cinzento, a ocorrência de falhas pode ser devido a espessura mais finas das paredes produzidas de acordo com as técnicas atualizadas de fundição, de maneira que elevam o nível de corrosão e estresse das redes (Sarzedas, 2009).

Na pesquisa de Sarzedas (2009), é realizado a análise da relação dos materiais de rede com o número de vazamento no período de 2002 a 2007, em que foi encontrado que as tubulações de PVC (Policloreto de Vinila) e cimento amianto (CA) foram as que apresentaram uma recorrência significativa de rupturas, enquanto as redes de PEAD e ferro fundido obtiveram maiores quedas na quantidade de quebras subsequentes.

O diâmetro da tubulação também é uma variável a considerar em relação as constantes ocorrências de vazamento, tendo em vista que as redes com diâmetros inferiores ou igual a 200mm são sujeitas a maior número de falhas. Dessa forma, uma das razões para essa sequência de danos é a resistência da tubulação ser menor, espessura da camada reduzida, padrão de fabricação diferente, a confiabilidade dos acessórios para esses diâmetros é menor e baixa velocidade de escoamento nas redes de pequeno diâmetro, ocasionando maiores chances para deposição de materiais suspensos (Sarzedas, 2009).

No estudo de Khomsi *et al.*, (1996) é apresentado a relação da taxa de quebra da tubulação em milhas por ano de quatro cidades: Winnipeg (Canadá), Nova Iorque (Estados Unidos da América), Filadélfia (Estados Unidos da América) e Saint Louis (Estados Unidos da América). Deve-se observar cuidadosamente os dados referentes a região do Canadá, uma vez que nesse local há uma grande variação de temperatura. Em todas as cidades em que os dados foram disponibilizados, demonstra-se que tubulações com maiores

diâmetros a taxa de falhas é inferior quando comparada às aquelas de menores diâmetros.

A pressão estática da água pode ser outro motivo para incidência de perdas de água, assim como a variação da pressão durante o processo de abastecimento de água, isso se deve aos instantes que ocorrem a abertura ou fechamento de válvulas, bombas ou ventosas para serviços de manutenção na rede ou para sistema de intermitência de água (Sarzedas, 2009). Dessa forma, a alta pressão causada por essa sobrecarga na tubulação colabora com as múltiplas rupturas e a constância nas quebras futuras (Andreou; Marks; Clark, 1987).

2.4 Melhorias de perda de água no processo de distribuição

Diante de todas as problemáticas expostas surge a necessidade de avaliar medidas que serão melhorias para o sistema de distribuição de água, dessa forma, Trow e Farley (2003) desenvolveu algumas etapas para montar uma estratégia a fim de reduzir e controlar as perdas de água. O primeiro passo é levantar alguns questionamentos acerca das características das redes e hábitos operacionais, como por exemplo, a quantidade de água perdida, onde está sendo perdida, a razão de estar sendo perdida, qual a melhor estratégia para atingir o objetivo e como pode-se sustentar as conquistas obtidas. Logo, através dessas perguntas desenvolver soluções plausíveis e alcançáveis.

A condição geral das tubulações de água são fatores predominantes para as questões de vazamentos, entretanto, isso afeta significativamente a economia da concessionária de saneamento, uma vez que toda a infraestrutura da rede é herdada de outras gerações, ou seja, para realizar a substituição mesmo que em áreas recorrentes de vazamentos requer um grande recurso financeiro, de modo que não é um método de gerenciamento de perdas economicamente viável (Trow; Farley, 2003).

Segundo ABES (2015), o desenvolvimento referente a qualidade dos materiais das redes e ramais é um meio de otimização do processo, porém, seria mais bem embasado com a utilização de um registro de falhas, de maneira que seja analisado os pontos que teve falhas recorrentes, sendo possível ter um

diagnóstico e um resultado mais rápido da evolução ou regressão das medidas que forem sendo adotadas.

A existência de sistemas abertos ocasiona na maximização da rede principal e possibilita o fluxo livre da origem do fornecimento de água, de forma que essa tubulação acaba sendo submetida a diferentes combinações de fontes de água e pressões variáveis, além de que esse sistema é exposto a problemas na bomba ou queda de energia. Dessa maneira, é viável criar uma rede de zoneamento para que possa encontrar com mais facilidade e assertividade as informações referentes aos perfis de pressão e taxa e quais são as regiões com maior problema, uma vez que esse método possui vantagens no gerenciamento (Trow; Farley, 2003).

Existem algumas medidas para serem tomadas sendo divididas em quatro tópicos: controle ativo de vazamentos, gerenciamento de pressões, agilidade e qualidade de reparo e gerenciamento de infraestrutura (Souza, 2022).

Um dos métodos, segundo Trow e Farley (2003), para gerenciar os vazamentos de um município é o controle ativo deles, de forma que é formado um time de pessoas para encontrar os vazamentos que são considerados não visíveis, sendo divididos, principalmente, em duas técnicas:

- Pesquisa Regular: É realizado a pesquisa de vazamento a partir de um extremo do sistema de distribuição e prossegue até o outro através de um sensor acústico a fim de identificar fluxos de alto volume noturno, geralmente, é realizado em áreas zoneadas. Um dos sensores acústicos utilizados é o geofone, em que é composto do sensor, amplificador, fones de ouvido e filtros de ruído, é usado na superfície do solo e onde apresentar maior intensidade é o ponto onde está localizado o vazamento não visível.
- Monitoramento de Vazamentos: Esse método consiste na supervisão dos fluxos das zonas para calcular o volume do vazamento, é considerada uma das atividades de controle mais econômica para gerenciar as perdas de água por vazamento.

O gerenciamento de pressão é uma estratégia utilizada internacionalmente no controle de vazamentos, sendo reconhecido como um

agente efetivo para reduzir o fluxo de taxa de vazamento, como também de diminuir a frequência com que ocorre as perdas nas redes, tanto antigas como novas, a média disso é diretamente proporcional, a cada 1% de pressão reduzida o fluxo reduz em 1% também, em relação as frequências são reduzidas em até 3%, essas vantagens geram ainda mais benefícios, de modo que podem prorrogar o tempo de vida dessa infraestrutura, além de que esse gerenciamento quando bem executado pode também reduzir o consumo de energia (DGE, 2015).

A pressão é um fator crucial na ocorrência de vazamentos, sendo assim, o controle dela é muito útil para o controle de perdas como explicado acima, de modo que um meio para gerir esse problema é a instalação e utilização de VRP(s), pois há um retorno mais rápido e eficaz (Gonçalves *et al.*, 2015). Entretanto, para realizar o controle é necessário ter o monitoramento das pressões para poder identificar se a pressão do setor está seguindo as normas, como também prever se um local necessita de algum reforço, uma vez que a rede pode estar operando com a capacidade inadequada tendo maiores perda de carga e conseqüentemente reduz a pressão da tubulação, uma das premissas possíveis de serem adotadas para realizar o monitoramento são zonas com pontos críticos de pressão, ou seja, os pontos que se encontram mais distantes ou elevados da referência, como reservatórios, boosters ou VRP(s) (Vidal Junior *et al.*, 2015).

Segundo Vidal Junior *et al.*, (2015) o monitoramento da pressão funciona através da análise constante do valor da pressão, em que a mesma segue uma linha de valores e repentinamente o valor decresce consideravelmente, uma das razões pode ser devido a ocorrência de vazamentos não visíveis e assim agir rapidamente ao combate da perda de água no sistema.

Resumidamente, o gerenciamento da pressão busca reduzir a pressão do sistema e período em que é necessário pressão máxima, assegurando o padrão para os clientes (Vidal Junior *et al.*, 2015).

Realizar o conserto dos vazamentos com qualidade e agilidade com certeza é um componente importante para controle de perda de água, além de ser uma maneira econômica e simples, porém, existem contratempos que não permitem que isso ocorra com um tempo mínimo, como o número de equipes de

manutenção reduzidas, restrição de execução em vias movimentadas etc. A qualidade do reparo é essencial para que não haja recorrências de vazamento no mesmo ponto, em que deve ter cuidado na operação das válvulas ao isolar o local que será feito o conserto, como também durante o reparo do vazamento e/ou no momento do reaterro e a sua compactação (DGE, 2015). Além de que a qualidade do conserto se refere também a qualidade do material que está sendo utilizada, dessa forma, utilizar tubulações e acessórios novos e de componentes que são recomendados pode cooperar para diminuição dos indicadores de vazamento (Tsutiya, 2006).

O gerenciamento de infraestrutura contribui diretamente no controle de vazamento e nos serviços operacionais, para isso é realizado a renovação de ativos com a substituições da rede e ramais de água, medidores e válvulas, aplicar todos os tópicos acima como a instalação de áreas de medição do distrito, garantia da qualidade da manutenção e materiais utilizados, ou seja, manter bem ambientado, como também instalar telemetria sendo possível ter um melhor controle ativo de vazamentos através da coleta automática dos dados permitindo gerenciar o abastecimento do imóvel ou a existência de vazamentos (DGE, 2015). A reabilitação das redes em sua maioria possui motivação hidráulica do que estrutural, uma vez que a intenção é ter as condições de escoamento melhoradas de modo que reduza também as perdas de cargas, podendo trabalhar com pressões reduzidas e assim contribui para diminuir as perdas reais (Tsutiya, 2006).

A substituição das tubulações é mais bem indicada quando ocorre a reincidência do vazamento naquele trecho, seja no ramal ou rede principal, uma vez que além dos custos serem mais altos é válido a tentativa somente do reparo e aplicação de todos os métodos de melhorias citados, como setorização, controle ativo dos vazamentos, gerenciamento de pressão e a qualidade e agilidade do conserto, sendo que a utilização dessas técnicas já será úteis e gerará resultados de grande valia.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na capital do Mato Grosso, Cuiabá, que se encontra na região Centro-Oeste. O município apresentou no ano de 2021 em torno de 623.610 mil habitantes e densidade demográfica de 150,41 habitantes/km² (IBGE, 2021; IBGE, 2022).

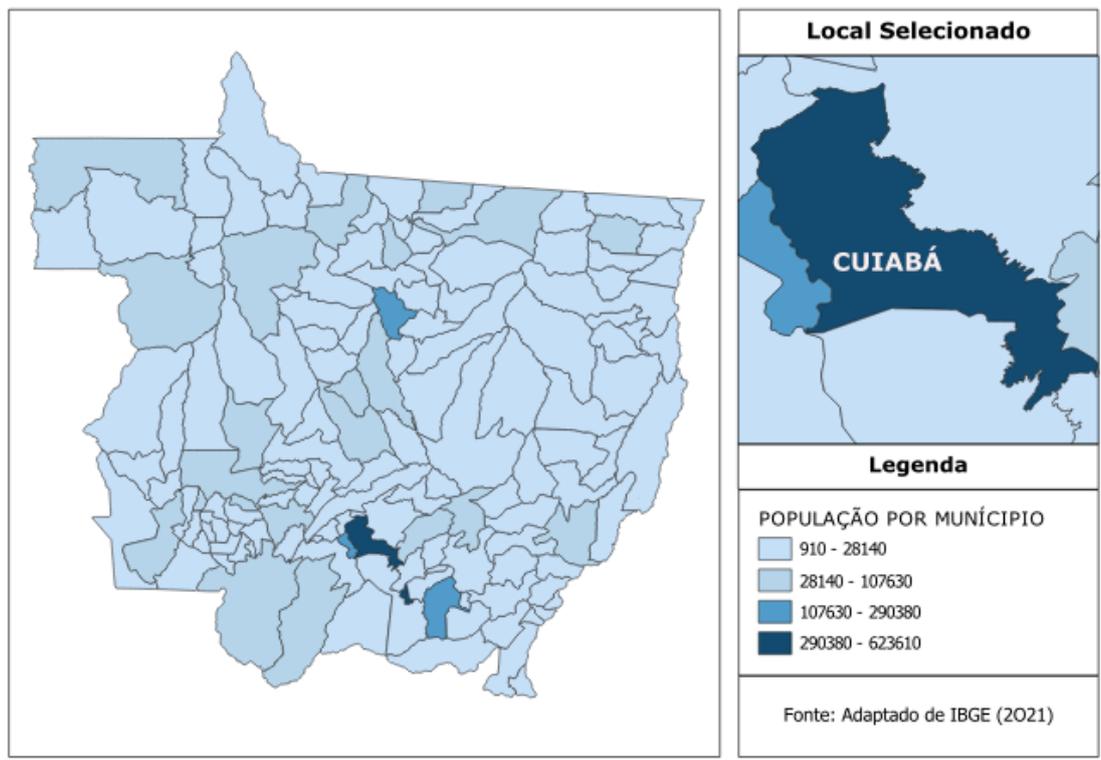


Figura 6 - Mapa do estado de Mato Grosso com a área de estudo selecionada.
Fonte: Adaptado de IBGE, 2021.

Esse estudo analisará os bairros que são abastecidos somente pelo reservatório INPE sendo eles:

1. CONDOMÍNIO RESIDENCIAL JARDIM VITORIA A
2. CONDOMÍNIO RESIDENCIAL JARDIM VITORIA B
3. CONDOMÍNIO RESIDENCIAL MONACO
4. CONDOMÍNIO RESIDENCIAL MONTENEGRO
5. CONDOMÍNIO RESIDENCIAL SAN MARINO
6. CENTRO POLÍTICO ADMINISTRATIVO I
7. CENTRO POLÍTICO ADMINISTRATIVO II
8. JARDIM FLORIANOPOLIS
9. JARDIM UNIAO

- 10. JARDIM VITORIA
- 11. NOVO PARAISO I
- 12. NOVO PARAISO II
- 13. PARQUE RESIDENCIAL DAS NAÇÕES
- 14. RESIDENCIAL MILTON FIGUEIREDO
- 15. SANTA TEREZA

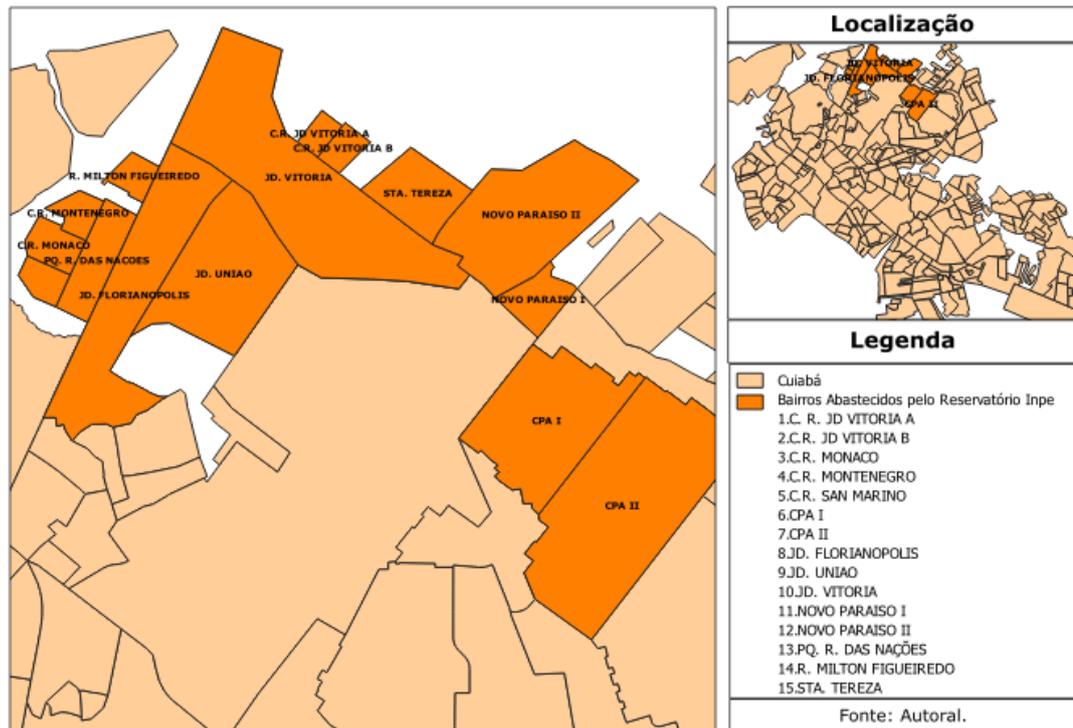


Figura 7 - Mapa de Cuiabá com os bairros abastecidos pelo Reservatório Apoiado Inpe selecionados.
Fonte: Autoral.

3.2 Dados de vazamento

Os registros de reparos efetuados pela empresa de saneamento de Cuiabá são mantidos em um software operacional específico para concessões de água e esgoto, denominado Sansys, versão 3.358.4. Através deste sistema, são extraídas informações detalhadas sobre os tipos de reparos realizados, a quantidade, os bairros afetados e as datas em que foram executados, sendo disponibilizadas em formato de planilha no Excel.

Dessa forma, serão utilizados os dados de reparos para realizar a montagem do mapa de calor dos vazamentos de água da empresa de saneamento do município de Cuiabá, esses dados são o número de consertos de rede, ramais e cavaletes que foram executados nos bairros citados acima,

demonstrando através do mapa aqueles locais que mais foram afetados e consequentemente tiveram maiores perdas reais de água.

Na tabela abaixo apresenta uma visão geral de vazamentos de água na capital mato-grossense para o ano de 2023:

SERVIÇOS EM CUIABÁ	QUANTIDADE EM 2023
CONCERTO DE RAMAL	8437
CONCERTO DE REDE	2491
CONCERTO DE CAVALETE	9602
TOTAL	20530

*Tabela 1 - Quantidade de reparos realizados no ano de 2023 na cidade de Cuiabá para cada categoria.
Fonte: Adaptado da empresa de saneamento da cidade de Cuiabá*

SERVIÇOS NOS BAIRROS CITADOS	QUANTIDADE EM 2023
CONCERTO DE RAMAL	375
CONCERTO DE REDE	85
CONCERTO DE CAVALETE	565
TOTAL	1025

*Tabela 2 - Quantidade de reparos realizados no ano de 2023 nos bairros abastecidos pelo reservatório INPE para cada categoria.
Fonte: Adaptado da empresa de saneamento da cidade de Cuiabá.*

3.3 Mapa de calor

A montagem do mapa de calor será realizada através do *software* QGIS, versão 3.20.3-Odense, em que é um sistema de informação geográfica livre e aberto, é utilizado para visualização, análise e edição de dados espaciais ou geográficos. O mapa de calor é utilizado como uma representação visual através de cores para indicar a intensidade de uma variável, em que nesse caso é o índice de concertos nos bairros abastecidos pelo reservatório Inpe, a fim de demonstrar com cores quentes onde está mais concentrado os vazamentos e os pontos com menor indício com cores mais fracas.

O mapa será criado utilizando o banco de dados da empresa de saneamento de Cuiabá, que inclui informações sobre os bairros, setores de

abastecimento e análise dos dados de vazamento de água. Esses dados foram extraídos do software Sansys em formato de planilha do Excel e convertidos em uma tabela dinâmica para simplificar a compreensão e obter os resultados totais dos reparos realizados na região mencionada. Após essa etapa, é formado uma tabela contendo apenas as informações dos bairros e a quantidade total de consertos. Esta planilha, no formato .xlsx, será então transferida para o QGIS e integrada com o *shapefile* do banco de dados da concessionária. Em seguida, são feitos os ajustes necessários para produzir o mapa de calor, como a edição da simbologia para graduação e a segmentação em classes dos valores de vazamentos obtidos. Esses valores são divididos em cinco classes, sendo que os bairros com menor ocorrência de serviços de manutenção serão representados em branco, os de ocorrência mediana em laranja e os com maior concentração de reparos em vermelho bordô. Isso segue a lógica do mapa de calor, onde cores mais quentes indicam maiores taxas da variável em questão.

Para melhor visualização e compreensão do mapa, é criado um novo layout de impressão, apresentando uma versão detalhada e outra reduzida do mapa, além da inserção de uma legenda. Essa funcionalidade está disponível no software QGIS na mesma versão utilizada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste estudo, considerou-se que os reparos realizados refletem os vazamentos identificados ao longo do processo de distribuição até o consumidor. Ao analisar os dados da empresa de saneamento de Cuiabá em 2023, observou-se que foram realizados 1025 reparos nos bairros atendidos pelo reservatório apoiado Inpe, que compreendem 15 dos 351 bairros da capital do Mato Grosso. Esses reparos representam aproximadamente 5% do total de consertos realizados em toda a cidade no mesmo período.

O mapa de calor abaixo transmite a distribuição da quantidade de reparos realizados por bairro, demonstrando por meio das cores a recorrência de vazamentos, apresentando por meio dos tons claros o bairro com menor índice de vazamento intensificando a cor para tons escuros conforme aumenta o número de consertos.

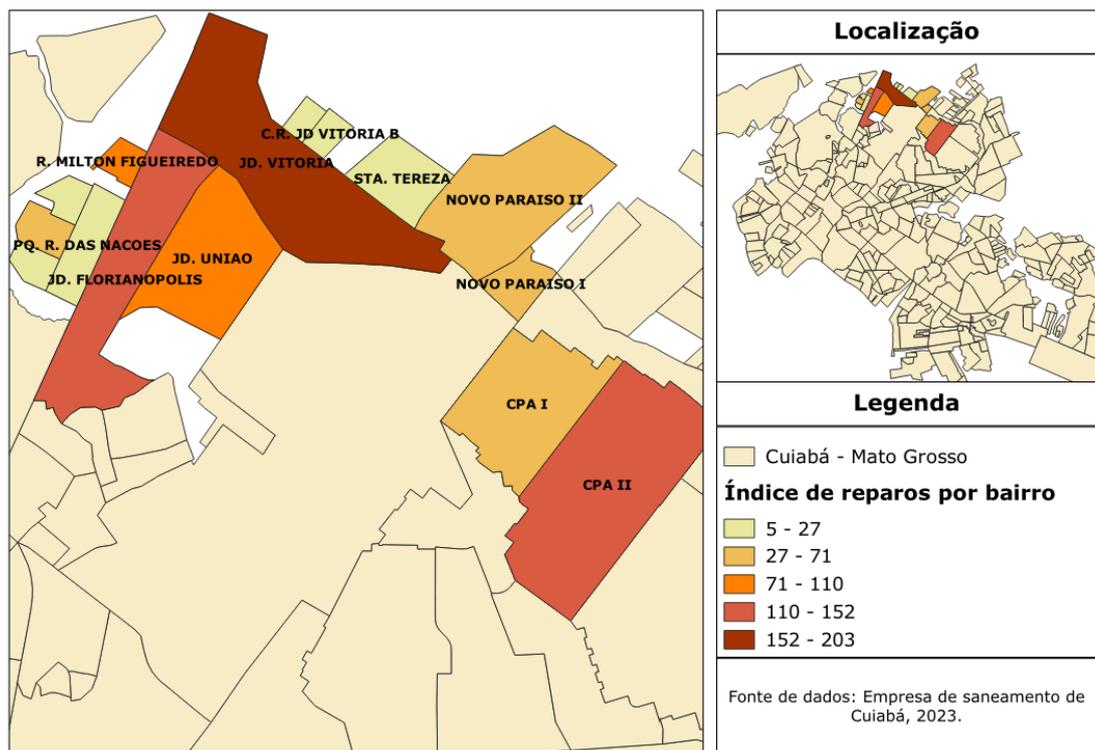
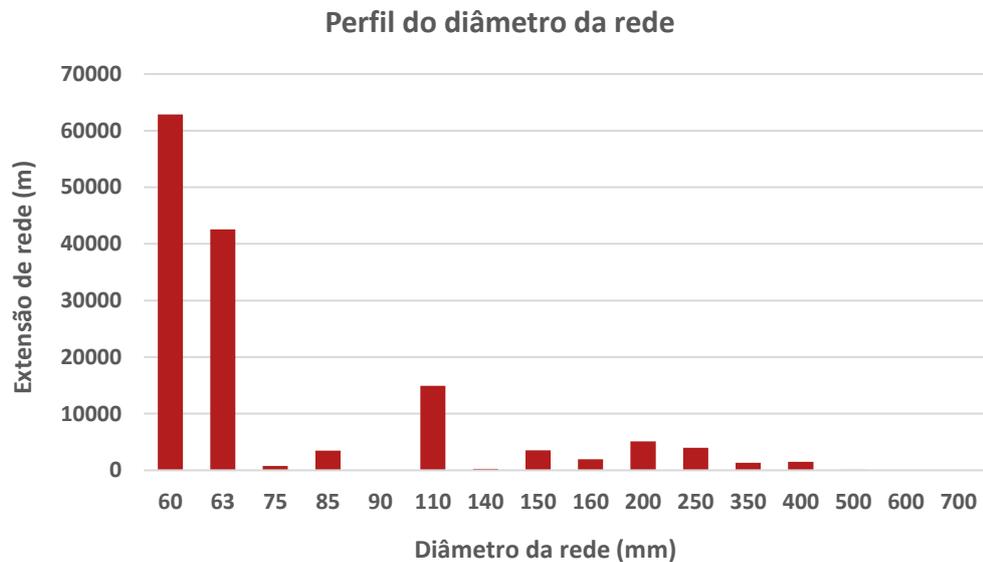


Figura 8 - Mapa de Calor dos vazamentos nos bairros abastecidos pelo reservatório apoiado Inpe.
Fonte de dados: Empresa de saneamento de Cuiabá, 2023.

Observando o mapa de calor é perceptível que o bairro com o maior número de reparos é o Jardim Vitória, totalizando 203 consertos realizados ao longo de 2023. Na sequência, encontram-se o Jardim Florianópolis e o CPA II, com 152 e 145 vazamentos, respectivamente. Essa análise abrange todos os tipos de consertos executados, incluindo cavalete, ramal e rede, oferecendo uma

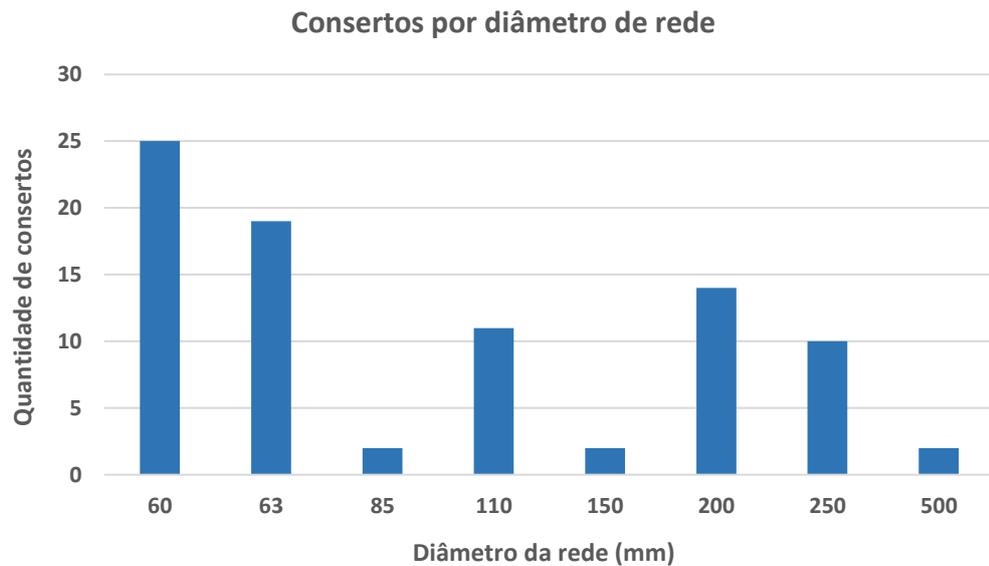
visão geral do índice de perdas naquela região. No entanto, é importante destacar que os vazamentos identificados na rede de distribuição tendem a apresentar uma vazão mais significativa, resultando em um volume maior de perda de água. Dessa forma, analisando os reparos executados na rede de água é viável traçar um perfil dos diâmetros das tubulações quebradas, assim como o material e a idade delas, para que possa avaliar as razões para a ocorrência dos vazamentos nesses bairros através dos dados referentes dos consertos realizados.



*Gráfico 2 - Perfil dos diâmetros das redes na região abastecida pelo RAP Inpe.
Fonte de dados: Empresa de saneamento de Cuiabá, 2024.*

Com base no gráfico 2 os diâmetros com maior extensão de rede são tubulações de 60 e 63 mm. Essa distribuição pode ser explicada de acordo com Heller e Pádua (2010), que discutem sobre as características das tubulações principais e secundárias. Nas redes analisadas, as tubulações de 60 a 160 mm são consideradas secundárias, sendo abastecidas pelas tubulações tronco de diâmetros maiores, iguais ou superiores a 200 mm. Nesses bairros a canalização principal representa somente 8% do total, sendo a restante considerada tubulação secundária.

Dessa forma, os consertos de rede de água executados nesses bairros serão classificados de acordo com o diâmetro da rede, permitindo a análise dos diâmetros que mais foram danificados e identificar as possíveis causas considerando as características presentes nessa região.



*Gráfico 3 - Quantidade de consertos por diâmetro de rede nos bairros abastecidos pelo RAP Inpe.
Fonte de dados: Empresa de saneamento de Cuiabá, 2023.*

A quantidade de reparos realizados em redes de até 200 mm representam 86% do total realizado no período de 2023 nos bairros abastecidos pelo RAP Inpe, em que de acordo com Sarzedas (2009), os diâmetros das redes são fatores que interferem na ocorrência de vazamentos, sendo que as tubulações com diâmetros iguais ou inferiores a 200 mm suscetíveis a maiores taxas de falhas, pois possui uma resistência menor, o padrão de produção é diferente e os acessórios quando utilizados nelas possuem confiabilidade reduzida.

Apesar de seguir a lógica o maior número de vazamentos em redes de pequeno diâmetro, considerar que as causas das rupturas dessas redes foram devido a somente ao diâmetro da rede não é válido, uma vez que as redes de 60 a 200 mm representam 95% da extensão total dos bairros, logo, possui maiores evidências de que serão mais afetadas.

Seguindo esse mesmo raciocínio, torna importante considerar e discutir outros fatores interferentes na quantidade de vazamentos nessa região, como o material da rede de distribuição e a idade da tubulação, segundo Tsutiya (2006), o material deve possuir uma boa resistência para suportar a pressão estática e dinâmica.

Nos bairros abastecidos pelo reservatório apoiado Inpe há quatro materiais de rede predominantes que fazem parte da extensão deles, sendo as

tubulações de ferro fundido (FoFo), ferro fundido revestido com polietileno (DEFoFo), PVC e PEAD.

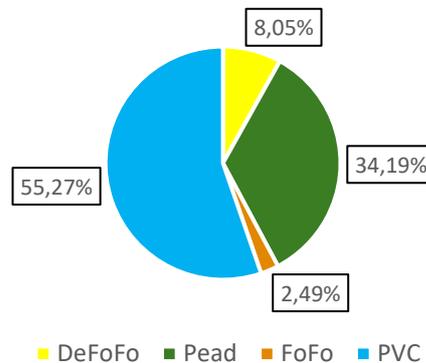


Gráfico 4 - Perfil do material da rede de distribuição dos bairros abastecidos pelo RAP Inpe.
Fonte de dados: Empresa de saneamento de Cuiabá, 2024.

Além disso, tem-se a informação que relaciona o ano da instalação da rede de distribuição para cada material, em que através dessa informação é possível fazer uma comparação com os dados dos materiais utilizados nos reparos de rede de água nesses bairros, a fim de analisar as possíveis causas dos vazamentos de água nessa região. Entretanto, há algumas falhas no cadastro técnico das redes de água da capital mato-grossense, de modo que não têm a informação referente ao ano de instalação de uma parte da extensão de rede dos materiais, elas serão identificadas como S.I., ou seja, sem informação.

As tubulações de ferro fundido instaladas entre 1985 e 2003 representam 81% da extensão total de tubulações de ferro fundido nessa região. Essas redes na sua maior parte foram inauguradas até 1992, totalizando 32 anos de idade ao mínimo, em que apenas 5 metros foram instalados a 21 anos atrás. Além disso, esse material tende a apresentar incrustações, especialmente nas redes mais antigas. À medida que essas crostas se formam, a perda de carga aumenta, o que demanda uma pressão maior nas redes de distribuição, podendo vir a ocorrer ruptura na rede devido a variação da pressão (ABES, 2015). Entretanto, no estudo de Sarzedas (2009), a tubulação de ferro fundido apresentou uma queda no número de reparos de rede no período de análise de seis anos.

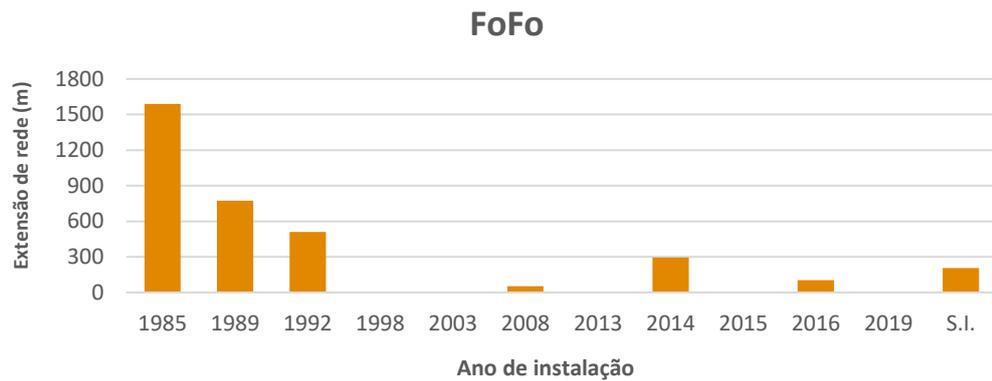


Gráfico 5 - Relação do ano de instalação com a extensão de rede para as tubulações de ferro fundido.
Fonte de dados: Empresa de saneamento de Cuiabá, 2024.

As tubulações de ferro fundido revestido com polietileno que foram instaladas no período de 1985 a 2003 equivalem a somente 29% da extensão total, sendo a maior parte uma rede de distribuição considerada nova, uma vez que possui no máximo 20 anos de uso. Além disso, no ano de 2014 foi inaugurado aproximadamente 33% da extensão total, mostrando que uma boa parte desse comprimento de tubulação é novo. Esse material é comumente utilizado nas tubulações tronco, por suportarem maiores pressões (Santos, 2018).

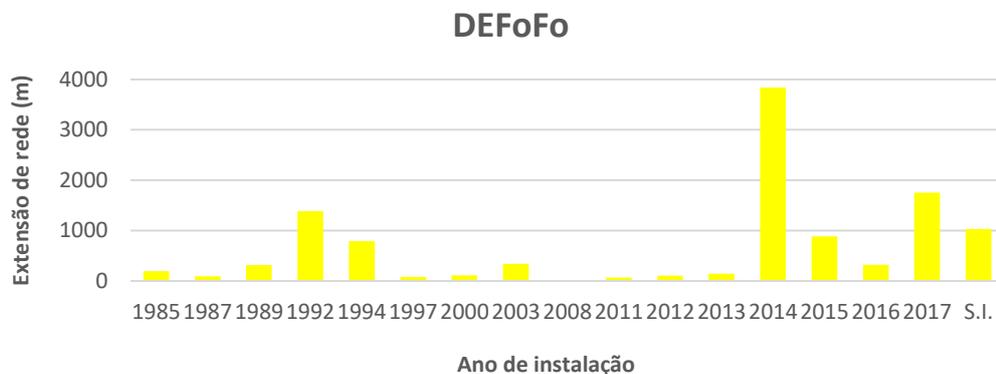


Gráfico 6 - Relação do ano de instalação com a extensão de rede para as tubulações de ferro fundido modificado.
Fonte de dados: Empresa de saneamento de Cuiabá, 2024.

As redes de distribuição dos bairros abastecidos pelo RAP Inpe que são do material PVC são divididas praticamente na metade, em redes novas e antigas, em que as redes com no máximo 20 anos de idade representam 52% e com idade superior a 21 anos equivalem a 48%, estando equilibrado entre essas duas características. De acordo com o estudo de Sarzedas (2009) que analisou os vazamentos em um período de seis anos apresentou que as redes de PVC

obtiveram uma reincidência significativa de danos quando comparada aos demais materiais, como FoFo e PEAD.

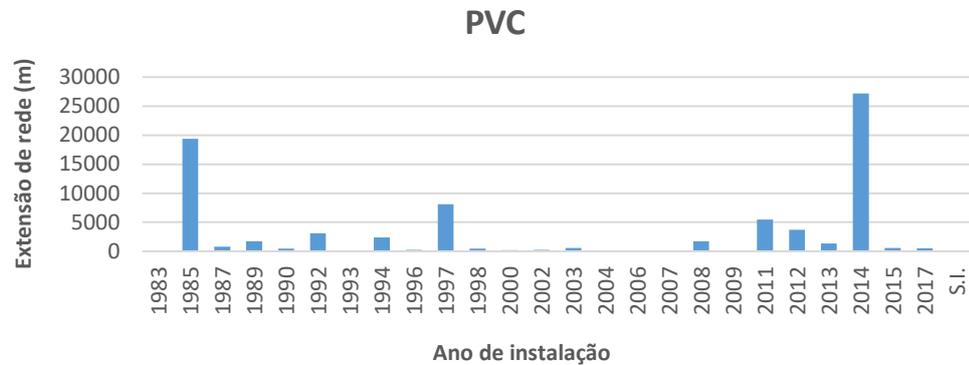


Gráfico 7 - Relação do ano de instalação com a extensão de rede para as tubulações de PVC.
Fonte de dados: Empresa de saneamento de Cuiabá, 2024.

A extensão de rede dessa região que possui como material o tubo PEAD possui 76% do total de tubulação com idade inferior a 20 anos, sendo que no ano de 2014 foram instaladas o equivalente a 56% do comprimento final, contribuindo para a diminuição de perdas de água. Além disso, no estudo de Sarzedas (2009) esse material apresentou uma queda no número de rupturas nas redes que tinha como material PEAD.



Gráfico 8 - Relação do ano de instalação com a extensão de rede para as tubulações de PEAD.
Fonte de dados: Empresa de saneamento de Cuiabá, 2024

Sendo assim, através das informações referente a idade das redes em relação ao material é possível comparar com os dados de consertos de vazamentos nas redes de distribuição de água, em que dos 85 reparos realizados, aproximadamente 58% das redes quebradas são do material do tipo PVC. Em sequência, são as canalizações de PEAD, DEFoFo e FoFo, com 19%, 15% e 8%, respectivamente.



*Gráfico 9 - Quantidade de consertos de vazamentos realizados por material de rede.
Fonte de dados: Empresa de saneamento de Cuiabá, 2023.*

As redes de ferro fundido (FoFo) registraram a menor taxa de vazamentos de água, uma constatação que pode gerar questionamentos, considerando que a maior parte delas tem pelo menos 32 anos de existência. No entanto, ao considerar a taxa de vazamentos a cada 100km por ano, verifica-se que esse material foi o que apresentou a maior ocorrência de rupturas na tubulação. Essa análise demonstra a quantidade de quebras na rede que ocorre em um ano a cada 100 km de rede percorrida. Logo, a tubulação formada majoritariamente por redes antigas influencia na taxa de vazamento. Além disso, essas canalizações com esse material, quanto mais antigas são, mais suscetíveis ficam a uma elevada taxa de incrustação, ocorrendo o aumento da perda de carga e, conseqüentemente, exigindo uma maior pressão na rede, o que, caso não haja o controle dessa pressão, pode ocasionar na quebra dela. Entretanto, no estudo de Sarzedas (2009), esse material apresentou redução no número de quebras ao longo do período de análise, que foi de 6 anos.

Além disso, o material PEAD registrou a menor taxa de ruptura, isso pode ser atribuído à reabilitação de cerca de 56% da extensão total da rede em 2014, resultando em uma grande parte das tubulações com no máximo 20 anos de instalação, o que contrasta com a situação das redes de ferro fundido.

A taxa de ruptura para o material DEFoFo é consideravelmente alta, apesar de 62% das tubulações serem consideradas novas. No entanto, como não é possível determinar quais seções foram danificadas, é possível que as rupturas tenham ocorrido em redes com mais de 30 anos de idade,

representando 24% do total. Um ponto interessante é que esse material é uma evolução do ferro fundido, pois possui revestimento de polietileno. Segundo Tsutiya (2006), materiais que contêm esse composto têm baixa propensão à corrosão, o que significa que não resultam em aumento significativo da perda de carga no sistema.

A baixa taxa de ocorrências para o PVC gera questionamentos, especialmente quando que foi o material que mais demandou reparos no ano. No entanto, ao analisarmos a extensão total da rede, percebemos que o PVC é o material mais amplamente utilizado nos bairros selecionados. Além disso, há uma divisão quase equitativa entre tubulações novas e antigas, com as redes novas prevalecendo por uma margem de cerca de 4%.

Material	Taxa de Quebra / 100km / Ano
DEFoFo	9,88
FoFo	55,67
PEAD	0,68
PVC	0,79
Total	0,42

Tabela 3 - Relação da taxa de quebra por ano a cada 100km por material de rede.

Fonte: Autoral.

Considerando todos esses aspectos, pode-se concluir que a setorização dos bairros desempenha um papel crucial na redução de vazamentos. Isso é evidente na região abastecida pelo reservatório apoiado Inpe, onde a taxa total de quebras em relação à extensão de todos os bairros foi relativamente baixa. Isso se deve à clara delimitação das áreas de abastecimento de cada bairro, evitando a complexidade de misturar redes principais de diferentes regiões, o que poderia levar a uma compreensão confusa da distribuição de água e, conseqüentemente, das perdas de água também (Trow; Farley, 2003). Entretanto, é válido destacar uma falha no zoneamento de redes no bairro Jardim Vitória.

Neste caso, o bairro é abastecido por duas redes principais provenientes de bairros diferentes, o que pode explicar o maior número de reparos realizados nessa área. Outro aspecto relevante relacionado a esse bairro é que a maioria de sua extensão de rede é composta por tubos do tipo PEAD, porém, as tubulações que mais sofreram rupturas foram as de PVC, em que esse material apresenta uma distribuição próxima entre redes novas e antigas.

Além disso, a reabilitação das redes é outro fator importante a ser considerado. Dois materiais que foram instalados em massa há 10 anos - o DEFoFo e o PEAD - apresentaram índices de vazamento consideravelmente bons e ótimos, respectivamente.

O controle ativo de vazamentos, é um dos métodos utilizados no combate a perdas de água no sistema de abastecimento de água, sendo realizado a pesquisa de vazamento nos bairros a fim de identificar onde pode ter vazamentos do tipo não visíveis, sendo assim, nessa região analisada foram executadas ao todo somente três consertos advindos da pesquisa, sendo um número extremamente baixo comparado com o total de reparos realizados.

Os vazamentos considerados nos ramais e cavaletes são importantes e necessário serem considerados, no entanto, não foi possível classificar quais os materiais que foram executados nos reparos, além de que o banco de dados da empresa de saneamento não disponibiliza essa informação. Entretanto, uma forma de solucionar esse elevado valor de reparos é que os vazamentos que são nos ramais realizar a substituição da ligação quando identificado que são tubos de PEAD pretos para os tubos de PEAD azuis, e também quando analisado que naquele imóvel há reincidência de quebra na ligação (ABES, 2015). Enquanto os vazamentos no cavalete, o ideal é avaliar o tempo de instalação, pois a estrutura pode estar danificada pela exposição ao sol, como também pela corrosão interna pelo material da tubulação, além de que por estar posicionada na superfície está sujeita a interferência direta da pessoa.

O tempo médio de execução do serviço é um aspecto crucial a ser considerado, pois afeta diretamente a rapidez na resposta ao problema. Um tempo prolongado indica que a perda de água está ocorrendo ao longo desse período, o que aumenta consideravelmente o desperdício. Portanto, de acordo com o contrato de concessão da empresa de saneamento de Cuiabá, o prazo médio para solucionar vazamentos é de 24 horas corridas, independentemente de ser feriado ou final de semana. Dessa forma, é possível calcular a média de execução para cada tipo de serviço nos bairros abastecidos pelo reservatório apoiado Inpe e determinar se estão dentro ou fora do prazo.

Consertos	Tempo Médio de Execução (h)
Rede	23:20:36
Cavalete	10:42:11
Ramal	25:08:14
Geral	19:43:40

*Tabela 4 - Tempo médio de execução para cada serviço e no geral.
Fonte de dados: Empresa de saneamento de Cuiabá, 2023.*

O tempo médio geral de execução de todos os serviços nesses bairros está dentro do prazo contratual, indicando uma agilidade na resolução dos problemas e uma boa produtividade das equipes. No entanto, ao examinar os reparos realizados nos ramais de ligação do cliente, percebe-se que esses serviços estão ultrapassando o prazo estipulado. Além disso, os reparos realizados na extensão da rede estão apenas 40 minutos abaixo do tempo contratual. Esses dois tempos prolongados têm impacto direto no combate às perdas, resultando em uma exposição prolongada do problema e desperdício de água, além de poder gerar falta d'água para os clientes da região.

Portanto, é essencial compreender as razões por trás desse aumento de tempo. Pode-se considerar um cenário de equipes reduzidas, falta de equipamentos e longos tempos de deslocamento devido a erros na programação dos serviços, que não levam em conta a alocação das ordens de serviço com menor distância. Além disso, no dia a dia operacional, são observadas interferências relacionadas ao deslocamento de caçambas para o aterramento das valas abertas. Quando se analisam os reparos na rede de diâmetros maiores, é necessário interromper o abastecimento, o que exige o fechamento de válvulas de manobra ou bombas. No entanto, devido à desatualização do cadastro técnico da empresa, ocorrem atrasos nesse processo, resultando na ociosidade da equipe em campo enquanto aguardam a interrupção do fornecimento de água.

Atualmente, todos os bairros deste setor de abastecimento possuem pelo menos uma válvula, cujo objetivo é facilitar a retirada da água da tubulação, contribuindo para a agilidade na conclusão do serviço. Para isso, são utilizadas válvulas do tipo bloqueio, manobra e descarga, todas equipadas com válvulas de gaveta para interromper o fluxo completamente quando necessário.

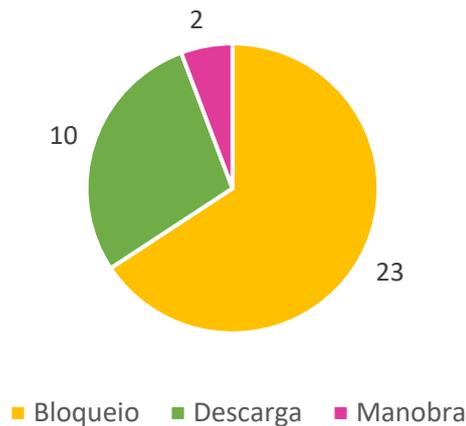


Gráfico 10 - Quantidade de cada tipo de válvula nos bairros abastecidos pelo RAP Inpe.
 Fonte de dados: Empresa de saneamento de Cuiabá, 2024.

Ademais, com essa interrupção no abastecimento será necessário o retorno dele ao finalizar o reparo na rede de distribuição, logo, a pressão na tubulação torna-se um fator crucial no índice de vazamentos, em que é preciso ter o seu monitoramento e controle, para que seja possível identificar momentos em que há variação na pressão e vazão e assim visualizar o local que possivelmente há vazamento (Gonçalves *et al.*, 2015). Como também, o controle da pressão, pois há variações de pressão na rede, devido a golpes de aríete pela falta de cuidado ao realizar a abertura ou fechamento de válvulas e bombas.

Portanto, nesta região, existem sete válvulas redutoras de pressão, distribuídas em apenas três bairros: CPA II, Parque Residencial das Nações e Jardim Florianópolis, sendo que cinco delas estão localizadas no último bairro mencionado. Embora as VRP's contribuam para a redução de perdas de água, é importante realizar o controle e monitoramento dela no geral. Curiosamente, o bairro com o maior número de rupturas na rede é também o que possui o maior número dessas válvulas. Dos 17 reparos realizados nesse bairro, 10 foram em redes com diâmetros inferiores a 200 mm, que possuem menor resistência. Os outros sete reparos foram em redes de 250 mm. No entanto, segundo os dados do banco de dados da empresa, nenhuma dessas VRP's está localizada na extensão de rede com diâmetro de 250 mm. Sendo assim, o investimento na instalação dessas válvulas é considerado de grande importância para controlar o índice de vazamentos e evitar mudanças drásticas no sistema que possam danificar a canalização.

5 CONCLUSÃO

Iniciando a conclusão deste trabalho, é imprescindível relembrar o propósito inicial deste estudo, em que com o vasto avanço da escassez hídrica torna-se essencial a discussão referente as perdas de água que atinge algumas regiões, nesse caso analisando as perdas reais ocasionadas nos bairros abastecidos pelo reservatório apoiado Inpe na cidade de Cuiabá, uma vez que a capital mato-grossense possui um alto índice de perdas como apresentado.

No geral, os bairros abastecidos pelo reservatório apoiado Inpe apresentaram um bom desempenho em relação ao índice de vazamentos, representando 5% somente do total de consertos realizados no município de Cuiabá, isso pode ser justificado pela rede de zoneamento em que o bairro que não apresenta essa setorização bem definida foi o que apresentou maior número de vazamentos, conforme o mapa de calor de figura 8, esse bairro é servido por duas redes principais provenientes de áreas distintas, o que pode explicar a maior incidência de reparos nessa localidade, uma vez que sistemas abertos geram a maximização dessa tubulação tronco, sendo submetida a diferentes fontes de água e variáveis pressões, por isso, torna-se vantajoso o gerenciamento desse setor, para que seja possível ter um controle e monitoramento das pressões e vazão nesse sistema.

Além disso, destaca-se a importância da utilização de materiais de qualidade e o gerenciamento da infraestrutura, conforme evidenciado pelos dados obtidos a partir da taxa de vazamentos anuais a cada 100km de extensão de rede, de modo que o material que teve a reabilitação da sua tubulação realizada recentemente foi o que apresentou menor taxa de vazamentos, como no caso do tubo PEAD, em contraste com a tubulação de ferro fundido que apresentou maior taxa, constituído principalmente por redes antigas, está mais suscetível a formação de incrustação, resultando numa maior perda de carga. Assim, o desenvolvimento dessas técnicas, com foco na substituição por materiais considerados mais adequados para o sistema de abastecimento de água, configura como um importante aspecto na otimização de processo.

Para o gerenciamento de pressões, é importante considerar a frequente necessidade de abertura e fechamento de válvulas de bloqueio, em momentos que há a necessidade de interromper o fornecimento de água na região, devido

a reparos localizados no comprimento de rede ou para a intermitência operacional de água. Sendo assim, é necessário que haja a instalação de VRP's para que tenha o controle da variação da pressão na rede, reduzindo a pressão de saída, de modo que o golpe de aríete não cause o rompimento de uma tubulação. Outra questão relevante observada é que bairro com maior número de vazamentos nas redes de distribuição é justamente o que mais possui válvulas redutoras de pressão. No entanto, nenhuma delas está localizada na tubulação com diâmetro mais afetado, ressaltando a possível necessidade de instalação nessas áreas, especialmente considerando a dimensão das tubulações e as elevadas pressões a que estão submetidas. Existem VRP's em mais dois bairros, sendo apenas uma distribuída para cada um, o que significa que, dos 15 bairros analisados, apenas três contam com esse controle e monitoramento de pressão. Entretanto, para estudos posteriores, seria importante comparar as pressões nas diferentes regiões com os índices de vazamentos, visando identificar a relação entre a perda de água e a variação de pressão, e assim determinar a necessidade de instalar mais redutoras de pressão.

O controle ativo de vazamentos é um tópico a se considerar, em que realiza-se a pesquisa regular de vazamentos não visíveis através de aparelhos acústicos, com o objetivo de identificar o elevado índice de perdas de água de uma região e também em algumas ocasiões a razão da falta d'água em determinadas regiões, esse método eficazmente que além de identificar os pontos que são necessários realizar os consertos é realmente executar os reparos nesses pontos, a fim de que seja reduzido o desperdício de água nesse setor. Contudo, a região que é servida pelo RAP Inpe houve somente três reparos realizados, demonstrando que essa prática de controle ativo não é realizada nessa região pela empresa de saneamento de Cuiabá. Logo, é um ponto a se considerar caso seja identificado um alto índice de perdas d'água para essa localidade.

Neste estudo, foi analisado o método de agilidade e qualidade de reparo, sendo que o tempo médio de execução dos consertos realizados nos bairros selecionados totalizou 19 horas, o que está em conformidade com o prazo contratual estipulado pela empresa de saneamento de Cuiabá. Isso evidencia

que o gerenciamento da quantidade de serviços executados tem um impacto significativo no indicador de tempo de atendimento dos serviços de água, incluindo os consertos realizados. Foi observado que os reparos de rede e ramal nesses bairros apresentaram um tempo de execução elevado, possivelmente devido ao tempo de deslocamento, à falta de equipamentos, a erros na programação de serviços e, em muitos casos, à espera ociosa durante a interrupção do abastecimento. Assim, torna-se imprescindível a instalação de válvulas de bloqueio ao longo da tubulação nesses bairros. Além disso, é fundamental que o cadastro técnico seja atualizado e forneça informações precisas sobre isso, para que, quando necessário, a interrupção no abastecimento seja realizada de forma rápida e eficaz, contribuindo para a execução eficiente do processo.

Portanto, através desse estudo entende-se que os métodos discutidos pela literatura como técnicas para melhorar o sistema de abastecimento de água a fim de reduzir perdas de água citados acima, como controle ativo de vazamentos, redes de zoneamento, gerenciamento de infraestrutura, agilidade e qualidade no reparo e gerenciamento de pressões, realmente funcionam, uma vez que nesse estudo foi identificado a prática de três dos cinco apresentados e isso impactou no baixo número de vazamentos para essa região, representando somente 5% dos vazamentos da cidade de Cuiabá. Entretanto, pode-se haver evolução nesse número caso seja aplicado os demais itens de melhorias, como o controle ativo de vazamentos e gerenciamento das pressões, como também o aumento de investimento na infraestrutura, tendo em vista que ao observar essa técnica sendo aplicada em dois materiais visualizou uma grande melhora na taxa de vazamentos anual a cada 100 km, podendo ser expandida para os demais materiais e ter um índice de perdas reduzido.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Aumentar a amostragem da análise, incluindo bairros que não adotam práticas de melhoria, como a setorização, para que seja possível realizar uma comparação mais abrangente dos dados obtidos e validar ainda mais os métodos.
- Analisar as perdas aparentes, uma vez que o município de Cuiabá enfrenta outros tipos de perda de água, não sendo somente por vazamento, mas também devido a ligações clandestinas e irregulares, submedições dos hidrômetros e áreas de invasão que ocasionam no consumo não autorizado.
- Incluir o balanço hídrico do sistema considerando os volumes de entrada, volume autorizado, não autorizado e perdido.
- Analisar e contabilizar a perda econômica gerada por essa perda de água, uma vez que deixa de faturar devido aos vazamentos ou fraudes nas ligações, além de incluir os investimentos necessários para que seja reduzido o índice de perdas de água e estimar o tempo necessário para recuperar esse valor investido.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Posicionamento e contribuições técnicas da abes: controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água.** Porto Alegre, 2015.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12.217: **Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento.** Rio de Janeiro, 1994.

ANDREOU, S. A.; MARKS, D. H.; CLARK, R. M. **A new methodology for modelling break failure patterns in deteriorating water distribution systems: applications.** *Advances In Water Resources*. [S.L.], v. 10, n. 1, p. 11-20, mar. 1987. [http://dx.doi.org/10.1016/0309-1708\(87\)90003-0](http://dx.doi.org/10.1016/0309-1708(87)90003-0).

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento.** 4. ed. Brasília: Funasa, 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. **Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Diário Oficial da União, Brasília, 4 de maio de 2021; Seção 1; 127, 2021.

BARRETO, G. C. **Avaliação da Operação e Estimativa das Perdas de Água e de Energia Elétrica no 3º Setor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Belém.** 2006. Mestrado — Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

CUNHA, C. E. R. **Telegestão de uma rede de abastecimento de água e drenagem de águas residuais.** Universidade do Porto, Porto, 2007.

DAMKE, T; PASINI, F. **A importância da potabilidade da água no saneamento básico para a promoção da saúde pública no Brasil.** Revista Teccen, Santa Rosa, 2020.

DGE - Directorate General Environment. **Good practices on leakage management WFD CIS WG PoM: main report.** Office For Official Publications Of The European Communities, Luxembourg, p. 1-117, 2015. <http://dx.doi.org/10.2779/102151>.

GONÇALVES, A. A. *et al.*, **A redução das perdas através do controle de pressões no abastecimento de água no município de Canoas: Estudo de caso em uma empresa de saneamento.** *Ciência e Conhecimento*, Porto Alegre, v. 9, n. 2, 2015.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano.** 2. ed. BELO HORIZONTE: UFMG, 2010. v. 1

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população residente nos municípios brasileiros.** Brasil, 2021.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama Censo 2022.** Cuiabá, 2022.

IWA - International Water Association. **Water Management - Industry as a Partner for Sustainable Development**. IWAP, United Kingdom, 2002.

KHOMSI, D. *et al.*, **Reliability Tester for Water-Distribution Networks**. Journal Of Computing In Civil Engineering, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 10-19, jan. 1996. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)0887-3801\(1996\)10:1\(10\)](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)0887-3801(1996)10:1(10)).

SARZEDAS, G. L. **Planejamento para a substituição de tubulações em sistemas de abastecimento de água. Aplicação na rede de distribuição de água da Região Metropolitana de São Paulo**. 2009. Mestrado — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MELATO, D. S. **Discussão de uma metodologia para diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. doi:10.11606/D.3.2010.tde-17082010-092608.

MORRIS JUNIOR, R. **Principal Causes and Remedies of Water Main Breaks**. Southwest Section Meeting, 19 out. 1966.

OLIVEIRA, G.; SCAZUFCA, P.; SAYON, P. L. **ESTUDO DE PERDAS DE ÁGUA DO INSTITUTO TRATA BRASIL DE 2023 – SNIS (2021): DESAFIOS PARA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E AVANÇO DA EFICIÊNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL**. São Paulo: GO Associados, 2023. 68 p.

OLIVEIRA, G.; SCAZUFCA, P.; SAYON, P. L. **RANKING DO SANEAMENTO DO INSTITUTO TRATA BRASIL DE 2023 (SNIS 2021)**. São Paulo: GO Associados, 2023.

PINTO, I. *et al.* **Procedimento operacional para operação das estações de tratamento de Água**. Cuiabá, 1 jun. 2021.

SALVADÓ, J. S. *et al.*, **The importance of water consumption in health and disease prevention: the current situation**. Nutrición Hospitalaria, Madrid, v. 37, n. 5, p. 1-15, 2020. ARAN Ediciones. <http://dx.doi.org/10.20960/nh.03160>.

SANTOS, F. M. G. **Alternativas de projetos de rede de distribuição de água em cidades de pequeno porte**. 2018. 96 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

SHAMIR, U.; HOWARD, C.D.D. **An Analytic Approach to Scheduling Pipe Replacement**. American Water Works Association, 1979.

SIQUEIRA, N. F. V. *et al.*, **O CAMINHO DA ÁGUA POTÁVEL: DA CAPTAÇÃO À DISTRIBUIÇÃO**. In: PIRES, R. C. S. *et al.* **CONSTRUÇÃO CIVIL: ENGENHARIA E INOVAÇÃO**. Rio de Janeiro: Epitaya, 2020. Cap. 10. p. 1-361.

SILVA, M. B. *et al.*, **Gestão integrada dos recursos hídricos como política de gerenciamento das águas no Brasil**. Revista de Administração da UFSM, Santa

Maria, v. 10, n. 1, p. 101-115, 17 abr. 2017. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/1983465913358>.

SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Abastecimento de água: gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento: guia do profissional em treinamento: nível 2**. Ministério das Cidades. Brasília: Ministério das Cidades, 2009.

SOUZA, Y. A. F. C. **Eficiência de medidores de pressão em redes de distribuição de água**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022

SWAN - Smart Water Networks. **Stated Non-Revenue Water Rates in Urban Networks**. Walton-On-Thames, 2011.

THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. **Water Loss Control Manual**. 2. ed. [S. l.]: McGraw-Hill Professional, 2008. 700 p. ISBN 9780071499187.

TROW, S; FARLEY, M. **Losses in Water Distribution Networks: A Practitioners' Guide to Assessment, Monitoring and Control**. [S. l.]: IWA Publishing, 2003. 298 p. ISBN 9781780402642.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de Água**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. p. 643p.

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Encarando os Desafios: Estudos de Caso e Indicadores**. Programa Mundial de Avaliação da Água das Nações Unidas. Paris, 2015.

USGS – United States Geological Survey's. **The Water Cycle**. Water Science School, Estados Unidos da América, out. 2022.

VIDAL JUNIOR, S. *et al.*, **Plano Diretor para o combate as perdas no sistema público de água**. Rhs Controls - Controles Sustentáveis, Analândia, v. 01, n. 03, p. 1-567, 2015.