



Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção
(PPGEP) do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da
Escola de Minas



Proposta de um sistema inteligente de distribuição de água (*Smart Water System*) em um Campus Universitário.

CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Aluna: Gesáina Martins

Orientador: Prof. Antonio Santos Sánchez

Ouro Preto - MG

Julho de 2021

Gesaína Martins
gesainamartins@gmail.com

**Proposta de um sistema inteligente de distribuição de água
(*Smart Water System*) em um Campus Universitário.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para a obtenção de Grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Antonio Santos Sánchez

Ouro Preto -MG

Julho de 2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M386p Martins, Gesáina.

Proposta de um sistema inteligente de distribuição de água (Smart Water System) em um campus universitário. [manuscrito] / Gesáina Martins. - 2021.

93 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Santos Sánchez.

Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

1. Água - Distribuição. 2. Água - Consumo. 3. Água - Desperdício. 4. Saneamento básico. I. Sánchez, Antonio Santos. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5:628.1

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



FOLHA DE APROVAÇÃO

Gesaína Martins

Proposta de um sistema inteligente de distribuição de água (Smart Water System) em um Campus Universitário

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em 29 de julho de 2021

Membros da banca

- [Doutor] - Antonio Santos Sánchez - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
- [Doutor] - Sandra Maria Antunes Nogueira - (Universidade Federal de Ouro Preto)
- [Doutor] - Karla Patrícia Santos Oliveira Rodríguez Esquerre - (Universidade Federal da Bahia)

Antonio Santos Sánchez, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito no Repositório Institucional da UFOP em 29/07/2021



Documento assinado eletronicamente por **Antonio Santos Sanchez, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/08/2021, às 09:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0200826** e o código CRC **BDAF8D0E**.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e por todas as oportunidades que Ele tem me proporcionado até aqui.

Agradeço imensamente a meus pais por todo esforço para dar oportunidades que eles não tiveram a mim e aos meus irmãos. Vocês são minha base e meu maior orgulho.

Agradeço também aos meus irmãos por todo apoio, torcida e ajuda. Serei eternamente grata a vocês.

Agradeço ao meu namorado Rogério pela parceria de todos esses anos, pela força, pela paciência, pela amizade, carinho e por todo cuidado. Amo você.

Agradeço aos meus sobrinhos Maria Eduarda, Antônio Marcelo, Heitor e José Felipe por serem minha razão de viver e minhas maiores alegrias nesse mundo. Amo vocês demais.

A meus amigos por toda torcida e por entenderem a minha ausência. Agradeço também aos amigos da UFOP, Antônia e Ricardo, pela parceria durante essa jornada e por tornarem esses dias mais leves.

O meu muito obrigada a meu orientador Antônio Santos Sánchez pela confiança e por me ajudar a concluir esse trabalho.

Por fim, agradeço à UFOP e aos demais professores por todo conhecimento de qualidade adquirido esses anos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código Financiamento 001.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

RESUMO

Os sistemas inteligentes de água (*Smart Water Systems*) compreendem um leque de tecnologias que permitem operar sistemas de distribuição de água com maior eficiência, reduzindo seus níveis de perdas.

Essa pesquisa tem como objetivo identificar oportunidades de redução do consumo de água em um campus universitário, mediante (I) a análise de seu sistema de distribuição de água; (II) a implantação de sistemas automáticos de monitoramento do consumo nos prédios; e (III) a instalação de aparelhos hidrossanitários de baixo consumo nos banheiros.

Primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica a respeito da situação do setor de saneamento do Brasil bem como das tecnologias de *Smart Water* mais utilizadas. Posteriormente foram realizadas intervenções em um edifício do campus universitário Morro do Cruzeiro (Universidade Federal de Ouro Preto), visando tornar mais eficiente a distribuição e o seu consumo de água. O consumo de água antes e depois das intervenções foi registrado mediante um sistema de monitoramento automático capaz de gerar várias medições por dia. A análise dos dados permitiu quantificar uma economia de 202 m³ de água por mês no edifício, assim como calcular o retorno do investimento feito no projeto, que teve como resultado um *payback* de 14 meses, mostrando assim que as intervenções realizadas são viáveis para a instituição.

Essas intervenções podem ser replicadas em outras edificações do campus, uma vez que esses prédios possuem similaridades no seu sistema de distribuição de água. Ainda existem outras medidas de conservação de água que podem ser implementadas, como a instalação de válvulas redutoras de pressão nos banheiros, bem como hidrômetro pulsado em pontos chave da rede de distribuição da Universidade a fim de localizar de forma rápida eventuais vazamentos.

Palavras chaves: *Smart Water, campus universitário, saneamento básico.*

ABSTRACT

Smart Water Systems comprise a range of technologies that allow the water distribution systems to operate more efficiently and reduce the levels of losses.

This research aims to identify opportunities to reduce water consumption on a university campus, through (I) the analysis of its water distribution system; (II) the implementation of automatic systems for monitoring consumption in buildings; and (III) the installation of low-consumption hydro-sanitary appliances in bathrooms.

First, a bibliographic review was carried out regarding the situation of the sanitation sector in Brazil as well as the most used Smart Water technologies. Subsequently, interventions were carried out in a building on the Morro do Cruzeiro University Campus (Federal University of Ouro Preto), aiming at making water distribution and consumption more efficient. Water consumption before and after interventions was recorded using an automatic monitoring system capable of generating several measurements per day. The analysis of the data allowed to quantify a savings of 202 m³ of water per month in the building, as well as to calculate the return on investment made in the project, which resulted in a payback of 14 months, thus showing that the interventions performed are viable for the institution.

These interventions can be replicated in other buildings on the campus, since these buildings have a similar water distribution system. There are still other water conservation measures that can be implemented, such as the installation of pressure reducing valves in the bathrooms, as well as a pulsed hydrometer in key points of the University's distribution network in order to quickly locate any leaks.

Key words: *Smart Water, university campus, basic sanitation.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Índice de Perdas de água tratada na distribuição (%), por países	13
Figura 2: Índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2018, segundo macrorregião geográfica e média do Brasil	18
Figura 3: Índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços de abrangência regional participantes do SNIS em 2017 e 2018, segundo prestador de serviços	19
Figura 4: Índice de perdas na distribuição (IN049) dos 27 prestadores de abrangência local de maior porte participantes do SNIS em 2018	20
Figura 5: Índice de perdas na distribuição (IN049) dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2018, segundo capital de estado e média do Brasil	21
Figura 6: Tipos de vazamento	25
Figura 7: Geofone eletrônico	28
Figura 8: Correlacionador de ruídos	29
Figura 9: fluxograma de informações entre os diferentes componentes: sensores, atuadores, controlador, servidor de dados e dispositivos de interface.....	33
Figura 10: Mapa SIG de uma rede de água	34
Figura 11: Exibição visual do consumo de água da Escola de Minas (UFOP).	35
Figura 12: Visão explodida de um hidrômetro monojato e listagem das peças que o compõem.	36
Figura 13: Medidores de fluxo mecânicos (à direita) e ultrassônicos (à esquerda), fornecidos com transmissores sem fio.....	38
Figura 14: Tampa de hidrante inteligente.....	39
Figura 15: Monitoramento da rede de água através de correlacionadores acústicos inteligentes ligados ao SIG.	39
Figura 16: Os cinco principais componentes da gestão de ativos	42
Figura 17: Efeito da redução do “tempo de conscientização” no volume de perda de vazamento.....	45
Figura 18: Parque Metalúrgico Augusto Barbosa (Centro de Convenções da UFOP). .	49
Figura 19: Adutora entre a casa de bombas do poço de captação (Parque Metalúrgico Augusto Barbosa) e o reservatório principal do Campus Morro do Cruzeiro.....	51
Figura 20: Chegada de água pela adutora até os dois reservatórios de distribuição do campus.....	52
Figura 21: Reservatório 1, Campus Morro do Cruzeiro.....	52

Figura 22: Reservatório 2, Campus Morro do Cruzeiro	54
Figura 23: Casa de bombas e tubulações de recalque e de distribuição do reservatório superior da Escola de Minas	55
Figura 24: Fluxograma da metodologia:	57
Figura 25: Determinação da economia de água gerada após intervenções numa edificação.	59
Figura 26 - Determinação da economia de água gerada após intervenções numa edificação, no caso em que há disponível um modelo preditivo do consumo de água. .	60
Figura 27: Hidrômetro pulsado instalado	62
Figura 28: Contador de pulsos.....	63
Figura 29: Receptor de internet	63
Figura 30: Interface ISSO Tecnologia.....	64
Figura 31: Arejador de 1,9cm de diâmetro.....	65
Figura 32: Arejadores de 1,7cm e 1,5cm de diâmetro.....	66
Figura 33: Arejador Embutido (cache) de 1,65cm de diâmetro	66
Figura 34: Anel redutor de vazão para descarga de vaso sanitário (esquerda) e redutor de vazão para mictórios (direita).	67
Figura 35: Tempo de retorno do investimento (Payback simples).....	73
Figura 36: Hidrômetro DN 150 (3”) na entrada do Reservatório 2 (à esquerda) e Hidrômetro DN 40 (1 1/2”) na entrada do prédio do Centro de Saúde/Farmácia do campus (à direita).....	74
Figura 37: Campanha de conscientização de uso racional de água da UFOP, divulgada nas mídias sociais em 2018	78
Figura 38: Restritor de vazão universal para canos de ½” c/ furo de 2, 5mm.	78
Figura 39: Redutor de vazão para mictório	79
Figura 40: Base de válvula de descarga com parafuso de regulagem	80
Figura 41: Válvula de descarga Hydra Max com anel redutor de vazão.....	80
Figura 42: Válvula de duplo acionamento.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Níveis de atendimento com água e esgotos dos municípios com prestadores de serviços participantes no SNIS em 2018, segundo macrorregião geográfica e Brasil. ..	11
Tabela 2: Principais indicadores de perdas físicas	17
Tabela 3: Balanço Hídrico de um sistema de distribuição de água	23
Tabela 4: Cálculo do indicador kWh/m ³ para a água consumida na Escola de Minas..	68
Tabela 5: Cálculo da energia consumida pela UFOP, e despesas mensais associadas, para que a água chegue ao Campus (bombeamentos poço + adutora).....	69
Tabela 6: Cálculo da energia consumida pela Escola de Minas devido ao seu consumo de água.....	70
Tabela 7: Economia gerada pelas intervenções	71
Tabela 8: Economia gerada pelas intervenções em m ³ /mês e em real (R\$).	72
Tabela 9: Materiais utilizados e seus custos.	72

Sumário

1. Introdução.....	11
1.1. Objetivos	16
1.1.1. Objetivo Geral	16
1.1.2. Objetivos Específicos.....	16
2. Revisão Bibliográfica.....	16
2.1. Gestão de perdas de água	16
2.1.1 Indicadores de perdas	16
2.1.2. Controle de perda de água em sistemas de distribuição	21
2.1.3. Auditoria de água	22
2.1.4. Detecção de vazamentos.....	25
2.1.5. Redução de perda de água através do gerenciamento de pressão	29
2.2 Sistemas inteligentes de água	31
2.2.1 Arquitetura	32
2.2.2 Exibição visual de informações	34
2.2.3 Medição inteligente (<i>Smart Metering</i>).....	35
2.2.4. Protocolos de Comunicação.....	40
2.3. Aplicações dos sistemas inteligentes de água	41
2.3.1. Gerenciamento de ativos e programação de reparos e substituições.....	41
2.3.2. Redução do tempo de detecção de vazamentos.....	44
2.3.3. Resiliência diante de eventos climáticos extremos.....	45
2.3.4. Automação do gerenciamento da pressão	46
2.3.5. Gerenciamento de dados em sistemas inteligentes de água: tratamento estatística, análise e reconhecimento de padrões.....	47
3. Sistema de distribuição de água do Campus Morro do Cruzeiro: Descrição do sistema atual de distribuição	49
3.1. Sistema de distribuição de água no prédio da Escola de Minas.....	54
4. Metodologia proposta para redução do consumo de água nas edificações do Campus.....	56
4.1 Intervenções na Escola de Minas da UFOP	60
4.1.1 Escolha do prédio de atuação e intervenções	60
4.1.2 Instalação de um sistema automático de monitoramento.....	61
4.1.3 Período de estabelecimento da linha de base	64
4.1.4 Intervenções realizadas.....	65
5. Resultados	67
5.1 Cálculo do consumo energético no sistema de captação e distribuição de água do campus.....	67

5.2 Verificação da redução do consumo e economia gerada pela instalação dos arejadores.....	70
5.3. Aplicabilidade das tecnologias de medição inteligente (<i>smart metering</i>) no campus	73
5.4. Propostas de Intervenções para o interior das edificações.....	77
5.5 Aplicabilidade da metodologia utilizada na Escola de Minas nas demais edificações do Campus	81
5.6. Propostas de trabalhos futuros	83
6. Conclusão	84
7. Referências	87

1. Introdução

O Brasil ostenta a maior reserva de águas doces superficiais do planeta (12% do total), porém as condições de acesso a esse recurso pela população não são igualitárias (CARVALHO, 2013). Os dados indicam que o índice de atendimento total com rede de abastecimento de água é em média 83,6% no Brasil (BRASIL, 2019), o que evidencia que há um grande atraso na universalização destes serviços. A deficiência de acesso aos serviços básicos se concentra em meio as populações mais carentes que se encontram em favelas, nas periferias das cidades e nas áreas rurais.

A inexistência ou ineficácia desses serviços contribui para problemas na saúde e na qualidade de vida da população. Dessa forma, os investimentos insuficientes neste setor interferem negativamente no sistema econômico, gerando gastos elevados para combater as enfermidades que são oriundas das condições sanitárias inadequadas (SANTOS et al, 2018).

A Tabela 1 apresenta os níveis de atendimento do saneamento no Brasil.

Tabela 1: Níveis de atendimento com água e esgotos dos municípios com prestadores de serviços participantes no SNIS em 2018, segundo macrorregião geográfica e Brasil.

Macrorregião	Índice de atendimento com rede (%)				Índice de tratamento dos esgotos (%)	
	Água		Coleta de Esgotos		Esgotos Gerados	Esgotos coletados
	Total (IN055)	Urbano (IN023)	Total (IN056)	Urbano (IN024)	Total (IN046)	Total (IN016)
Norte	57,1	69,6	10,5	13,3	21,7	83,4
Nordeste	74,2	88,7	28	36,3	36,2	83,6
Sudeste	91	95,9	79,2	83,7	50,1	67,5
Sul	90,2	98,6	45,2	51,9	45,4	95
Centro-Oeste	89	96	52,9	58,2	53,9	93,8
Brasil	83,6	92,8	53,2	60,9	46,3	74,5

Fonte: (BRASIL, 2019).

Notas:

*Os códigos apresentados acima possuem os seguintes significados:

IN055: Índice de atendimento total com rede de abastecimento de água;

IN023: Índice de atendimento urbano de água;

IN056: Índice de atendimento total com rede de esgotos;

IN024: Índice de atendimento urbano com rede de esgotos;

IN046: Índices de tratamento de esgotos gerados;

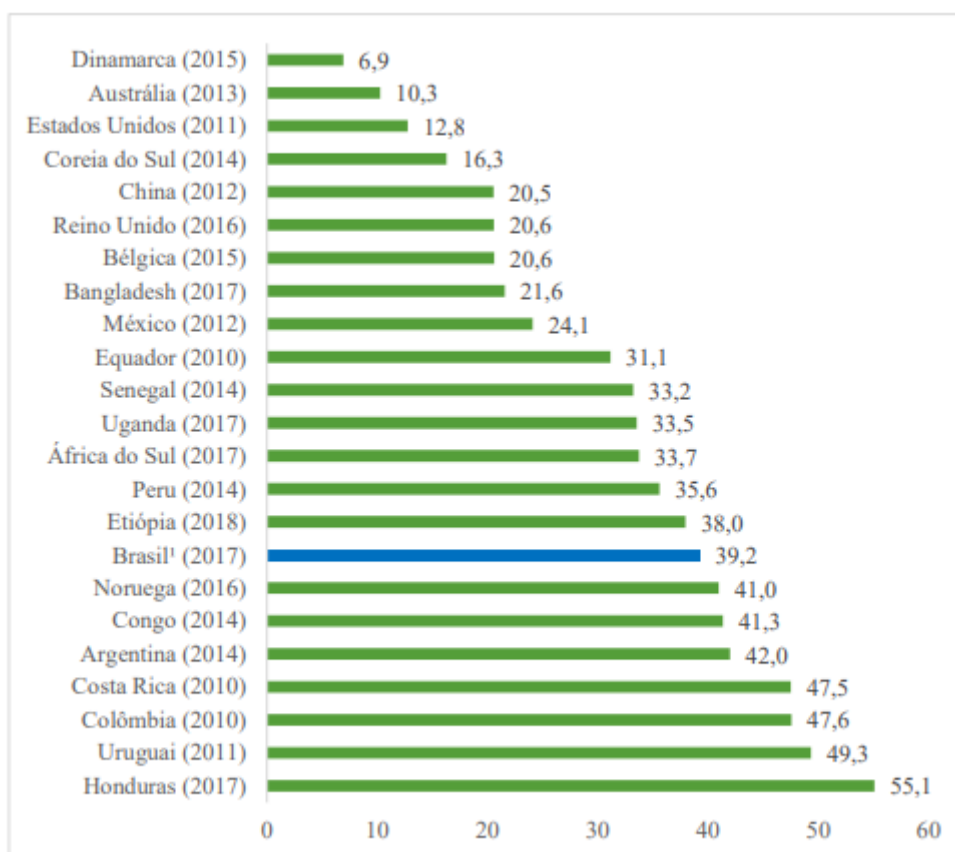
IN016: Índice médio de tratamento dos esgotos coletados.

Dessa forma, é possível perceber que no total, a média de atendimento com rede de água no Brasil é 83,6 %, o que demonstra que há ainda uma grande parcela da população sem acesso a esse serviço. Ao analisar o nível total de atendimento com rede de coleta esgoto, essa realidade é ainda pior, sendo a média brasileira de 53,2%. Nota-se também que as regiões Norte e Nordeste possuem os menores índices de atendimento em todos esses serviços.

A demanda pela água potável no Brasil vem aumentando todos os anos. Porém, a quantidade dessa água disponível vem se tornando cada vez mais escassa e mais poluída. Nesse sentido a melhor solução para a preservação das águas atualmente é o investimento na área do saneamento básico.

Para agravar ainda mais a situação, o Brasil possui um alto índice de perdas de água, o que dificulta ainda mais que tais serviços alcancem toda a população. A Figura 1 apresenta a comparação do nível de perdas a nível internacional, sendo possível identificar que o Brasil se encontra distante dos países avançados que possuem níveis de perdas inferiores a 20%.

Figura 1: Índice de Perdas de água tratada na distribuição (%), por países



Fonte: (TRATA BRASIL, 2019)

O município de Ouro Preto (MG) é um exemplo da precária situação do saneamento no país, tanto pela ausência de tratamento de esgoto quanto pelo elevado índice de perdas de água tratada. Ouro Preto e seus 12 distritos possuem mais de 74 mil habitantes (IBGE, 2019). Enquanto 88% da população é atendida com serviços de água potável, apenas 64% dos moradores têm coleta de esgoto pelo que o restante da população ainda usa o sistema de fossa. Atualmente, todo o esgoto coletado é despejado em rios e córregos sem tratamento. Os vazamentos de água na rede de distribuição são outros graves problemas. Estima-se que a cidade de Ouro Preto sofre uma perda superior a 50% da água tratada. A rede de distribuição apresenta uma média de idade elevada e sua renovação é dificultada por dois condicionantes técnicos: a complicada orografia da cidade e sua condição de cidade histórica. Ainda, não há medição do consumo de água, e todos os consumidores (residenciais, comerciais ou industriais) pagam uma taxa simbólica pelos serviços prestados. Como consequências dessa situação, os principais mananciais estão explorados ao limite e a falta de água na cidade é recorrente em períodos de ano com elevada afluência de turistas, principalmente durante o Carnaval (PMSB OURO PRETO, 2013).

A operação do serviço de saneamento básico em Ouro Preto foi transferida recentemente de um sistema de autarquia municipal (SEMAE-OP) para um consórcio privado que inclui a GS Inima Brasil e as empresas mineiras MIP e EPC. Dentre os compromissos adquiridos pelo consórcio, destacam-se a universalização dos serviços de água, a redução do volume de perdas de água a 20%- 25% em 5 anos, a ampliação da coleta de esgoto para 90% em 15 anos e o tratamento de todo o esgoto coletado em 60 meses, mediante a construção da Estação de Tratamento de Esgoto Osso de Boi (GSInima, 2019).

Dentro do município de Ouro Preto, temos o Campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) que é um dos grandes consumidores de água da cidade, porém este campus universitário não é abastecido pela mesma rede de água tratada da cidade de Ouro Preto, uma vez que a concessionária da cidade não conseguia fornecer a demanda de água necessária à Instituição. Por esse motivo o campus possui seu próprio sistema independente de água, cuja captação é realizada atualmente a partir de 3 poços localizados a uma distância de 1,5 km do campus.

Por ser responsável pela captação e distribuição da água utilizada em suas edificações, a UFOP não paga pela água que é consumida no campus, porém a instituição dedica uma parte significativa de seu orçamento para (I) garantir o abastecimento com a perfuração de novos poços, (II) despesas com manutenção da rede de distribuição de água, e (III) energia elétrica para as bombas. A universidade, por se tratar de uma instituição pública, precisa gerir seu orçamento de maneira mais eficiente. Sendo assim uma redução em seus gastos, de qualquer natureza, é muito importante.

Para otimizar o consumo de água no campus, combatendo desperdícios e vazamentos, propõe-se a aplicação de soluções tecnológicas que permitam melhorar o desempenho de seu sistema de distribuição. Tais soluções devem permitir o monitoramento da quantidade consumida pelos distintos setores que compõem o sistema, para dessa forma estimar quanta água é perdida por vazamentos e identificar quais são os trechos mais problemáticos, assim como verificar a economia de água gerada por projetos de melhoria das instalações.

Os recentes avanços tecnológicos, como a Internet das Coisas e a inteligência artificial, permitem ao setor de saneamento atingir um padrão elevado de eficiência. Um “sistema inteligente de água” (*Smart Water System*), também denominado “rede inteligente de água” (SWAN – *Smart Water Network*), consiste em um grupo de soluções tecnológicas

emergentes que ajudam os gerentes de água a operar com mais eficiência e, em menor escala, ajudam os consumidores a rastrear e gerenciar seu uso de água. Essas soluções são baseadas na alavancagem da Internet das Coisas, Big Data e análise automática de dados. Como resultado, o sistema de água torna-se capaz de coletar e analisar dados e também de se comunicar com outros sistemas. A maior parte da operação do sistema de água (gerenciamento de pressão, controle de fluxo etc.) pode ser automatizada e otimizada (SÁNCHEZ et al. 2020). Através desse sistema é possível localizar vazamentos e repará-los rapidamente, evitando assim um alto volume de perdas.

Portanto, neste estudo será analisado o potencial das tecnologias “*Smart Water System*” no sistema de distribuição de água de um dos edifícios do Campus Morro do Cruzeiro da UFOP através do projeto de extensão “Sistema de gestão e medição inteligente do consumo de energia para o Campus Morro do Cruzeiro”.

Visando reduzir o consumo de água e diminuir os custos com sua distribuição, o projeto realizado na Universidade Federal de Ouro Preto estudou e descreveu como ocorre a captação e distribuição da água no Campus Morro do Cruzeiro, bem como na Escola de Minas, foco desse trabalho, objetivando identificar quais as intervenções mais viáveis para serem utilizadas no prédio para reduzir o consumo de água. A partir disso algumas ideias foram levantadas, levando em consideração as especificidades do prédio, sua condição de patrimônio público e a verba que poderia ser empregada no projeto. Logo optou-se pela instalação de um sistema inteligente de monitoramento do consumo de água no prédio e em seguida foram instalados arejadores nas torneiras dos banheiros que reduzem a vazão em até 1,8 litros/minuto. Nos três meses que se seguiram, dados do consumo do prédio foram analisados para verificar se houve economia resultantes das intervenções escolhidas. Apesar de recursos limitados, o projeto conseguiu uma redução de 202 m³ de água por mês no prédio.

Dessa forma, este trabalho pretende demonstrar como através de medidas de conservação e da utilização de sistemas inteligentes de monitoramento do consumo de água, consegue-se gerar economia, tanto de água quanto de recursos financeiros, quantificá-los, além de monitorar possíveis vazamentos, evitando assim a escassez de água na instituição.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Realizar um estudo sobre sistemas de *Smart Water System* (sistema inteligente de água) e propor um sistema viável que possa ser empregado em um campus universitário com o objetivo de evitar desperdícios e diminuir os custos da distribuição da água.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Descrever o sistema de captação e distribuição de água da Universidade Federal de Ouro Preto e em particular da Escola de Minas, foco do estudo realizado.
- Implantar um sistema piloto de monitoramento do consumo de água na Escola de Minas do Campus Morro do Cruzeiro.
- Realizar um levantamento das economias provenientes do emprego desse sistema piloto e, a partir disso, propor a aplicação de um sistema que possa expandir os benefícios alcançados a todo o Campus.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Gestão de perdas de água

2.1.1 Indicadores de perdas

Nem todo o volume de água potável tratada que entra no sistema de água será finalmente registrado pelos medidores dos consumidores. Esse volume “perdido” de água, que representa perda de receita para a companhia de água, deve-se a perdas reais (vazamentos nos canos) e a perdas aparentes (consumo não autorizado e também imprecisões e erros cometidos pelo sistema de medição). O indicador de perda de água é a porcentagem das perdas totais de água em relação à quantidade de água potável tratada que é fornecida ao sistema. No Brasil, as perdas de água nos sistemas de distribuição são em média de 38,5% (BRASIL, 2019). Independentemente do tamanho do sistema de distribuição de água, as perdas de água representam uma perda direta de receita financeira, bem como um desperdício de dois recursos ambientais cada vez mais escassos: água e energia (SÁNCHEZ et al. 2020).

Os dados referentes a essas perdas apresentados nessa seção podem ser consultados no Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos no site do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) (BRASIL, 2019). Este estudo é construído a partir das informações fornecidas por companhias estaduais, empresas e autarquias municipais, empresas privadas e, muitas vezes, pelas próprias prefeituras dos municípios. A coleta de dados é feita por meio de formulários preenchidos via web por meio do sistema SNISWeb. Cerca de 185 informações de diversos tipos são coletadas, como, por exemplo, população atendida, quantidade de ligações e de economias ativas (domicílios residenciais, comerciais e públicos), volumes produzidos e consumidos para abastecimento de água entre outras várias informações. Partindo desses dados, são calculados 84 indicadores no sistema, dentre eles, indicadores econômico-financeiro e administrativos, operacionais de água, operacionais de esgotos, balanço e qualidade.

Em 2018, no total, 1.568 prestadores de serviços forneceram informações. Para o serviço de abastecimento de água, são representados 5.146 municípios, com população urbana de 173,2 milhões de habitantes. Esse número representa 92,4% em relação ao total de municípios e 98,1% em relação à população urbana do Brasil. Em relação ao esgotamento sanitário, a quantidade de municípios é de 4.050 e a população urbana de 164,1 milhões de habitantes, representando 72,7% em relação ao total de municípios e de 92,9% em relação à população urbana do Brasil (BRASIL, 2019).

A Tabela 2 apresenta os principais indicadores de perdas físicas utilizados pelo SNIS.

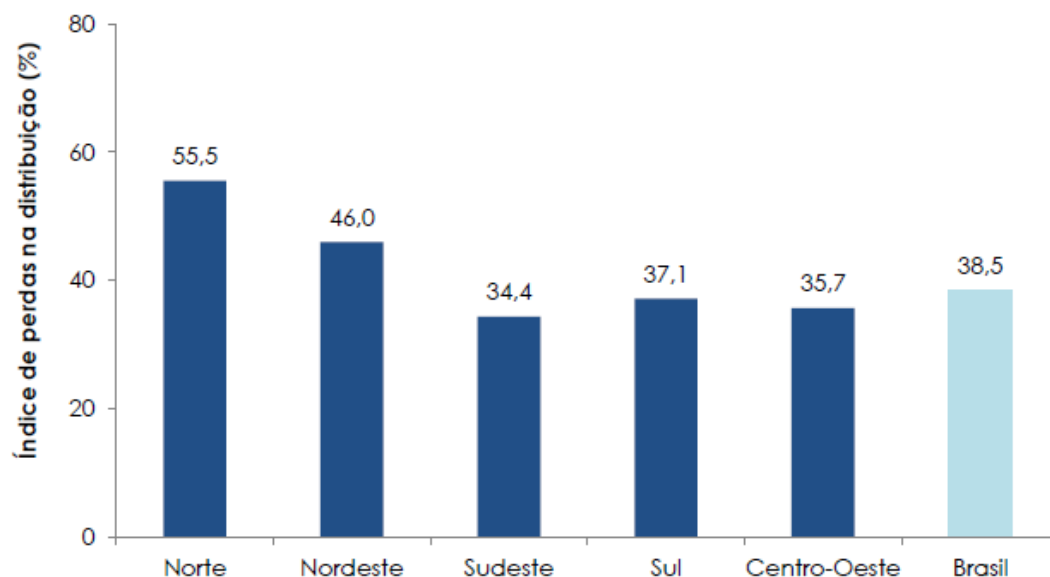
Tabela 2: Principais indicadores de perdas físicas

Número de indicador do SNIS	Denominação	Unidade
IN049	Índice de perdas na distribuição	%
IN051	Índice de perdas por ligação e dia	$\frac{\text{litros}}{\text{ligação} \cdot \text{dia}}$

Fonte: Adaptado de (BRASIL, 2019)

A Figura 2 apresenta o índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços segundo macrorregião geográfica e média do Brasil.

Figura 2: Índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2018, segundo macrorregião geográfica e média do Brasil



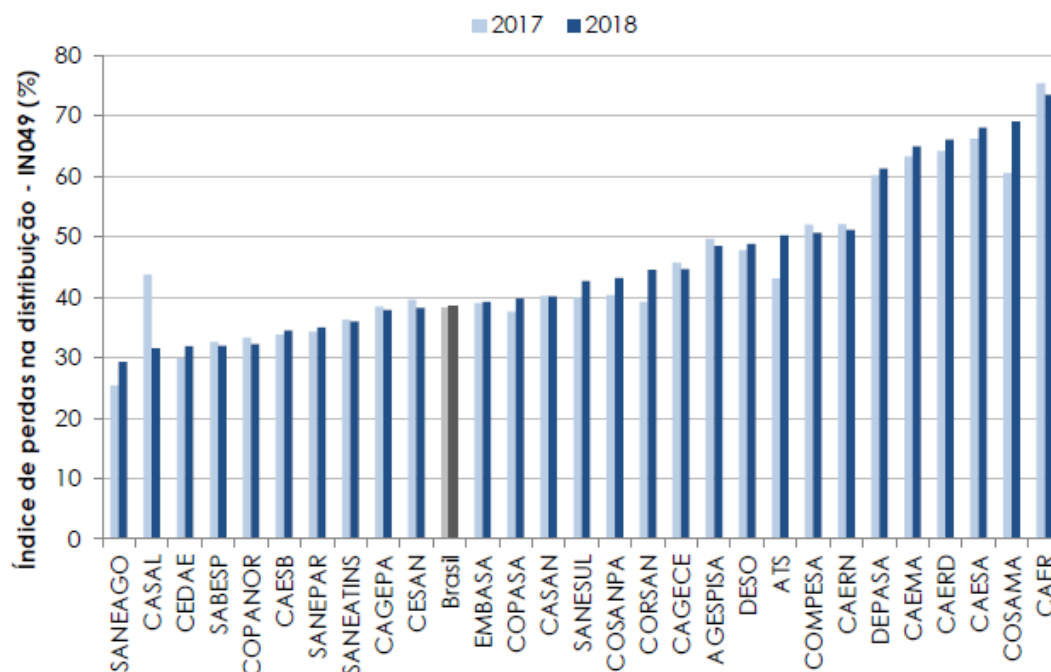
Fonte: (BRASIL, 2019)

As macrorregiões Norte e Nordeste apresentam os maiores índices de perdas na distribuição, valores estes acima da média nacional, com 55,5% e 46,0%, respectivamente. Já o Sul, Centro-Oeste e Sudeste apresentam índices semelhantes, sendo 37,1%, 35,7% e 34,4%, respectivamente. Esses valores estão abaixo da média nacional e apresentam contrastes importantes com as macrorregiões Norte e Nordeste do país.

A Figura 3 apresenta o índice médio de perdas na distribuição (IN049) dos prestadores de serviços de abrangência regional¹ nos anos de 2017 e 2018. As médias do Brasil, encontram-se destacadas em cinza.

¹ Área de atuação que compreende mais de um município, em grande quantidade, atendidos quer com sistema(s) isolado(s) quer integrado(s). Corresponde às companhias estaduais de saneamento.

Figura 3: Índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços de abrangência regional participantes do SNIS em 2017 e 2018, segundo prestador de serviços



Fonte: (BRASIL, 2019).

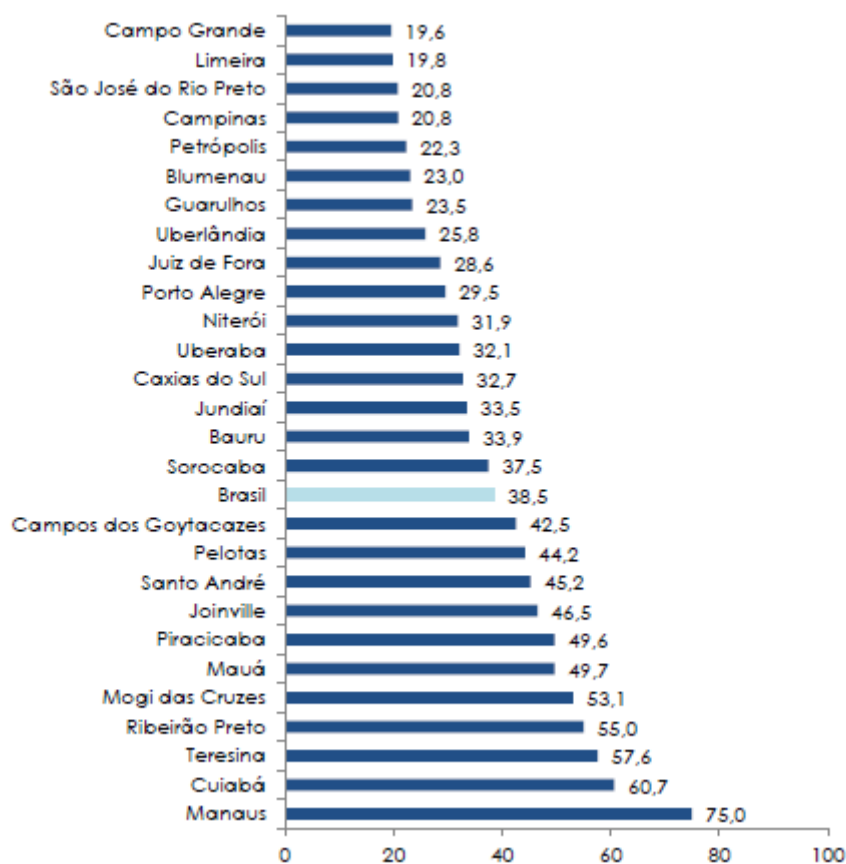
Analisando os resultados dos prestadores de serviços de abrangência regional, é possível observar que em 2018 apenas um prestador apresenta índice inferior a 30% (SANEAGO/GO, 29,2%). Outros 11 prestadores apresentam índices superiores a 30% e inferiores a 40%. Entre 40 e 50% encontram-se outros 7 e acima de 50% encontram os 9 restantes.

Os dados do SNIS do ano de 2018 permitem também análises por estado ou capitais de estado.

A Figura 4 apresenta os valores do índice médio de perdas na distribuição (IN049) dos 27 prestadores de serviços de abrangência local² de maior porte que participaram do SNIS em 2018, juntamente com a média nacional.

² Área de atuação que compreende um município, em geral onde está sediado o prestador de serviços. Eventualmente em caráter quase sempre não oficial, há o atendimento a frações de municípios adjacentes.

Figura 4: Índice de perdas na distribuição (IN049) dos 27 prestadores de abrangência local de maior porte participantes do SNIS em 2018



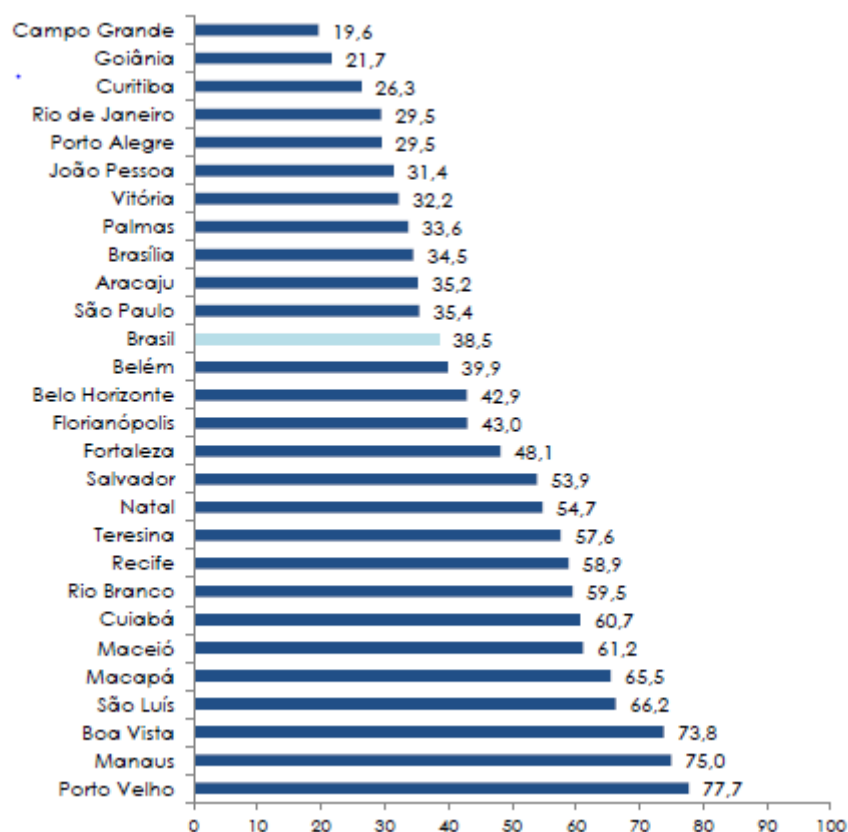
Fonte: (BRASIL, 2019)

Entre os 27 prestadores de serviços de abrangência local de maior porte, 16 encontram-se abaixo da média nacional que é 38,5%, representando uma população total residente de aproximadamente 10,4 milhões de habitantes.

Já com índices abaixo de 20%, aparecem os prestadores dos municípios de Campo Grande/MS (19,6%) de Limeira/SP (19,4%), com uma população de 885.711 e 303.682 habitantes, respectivamente. Nesses municípios, o serviço é prestado por empresas privadas. Os prestadores com índices maiores que 60% são situados nos municípios de Cuiabá/MS (60,7%) e Manaus/AM (75,0%), com uma população de 607.153 e 2.145.444 habitantes. Esses municípios também são atendidos por empresas privadas.

A Figura 5 mostra os resultados para o índice de perdas na distribuição (IN049), em valores médios, das 26 capitais dos estados brasileiros, de Brasília, capital do Distrito Federal, incluindo a média nacional.

Figura 5: Índice de perdas na distribuição (IN049) dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2018, segundo capital de estado e média do Brasil



Fonte: (BRASIL, 2019)

Em relação às capitais de estado, em 11 capitais os índices foram menores que a média nacional (38,5%) e outras 12 apresentaram perdas superiores a 50%.

Além de Campo Grande/MS, outras apenas outras 4 capitais mostram índices inferiores a 30%.

Analisando esses dados é possível perceber que as concessionárias ainda possuem um alto nível de perdas e precisam de um sistema mais eficiente que possa ajudar a reduzi-las. Nas próximas seções desse trabalho serão apresentadas metodologias e equipamentos para esse fim.

2.1.2. Controle de perda de água em sistemas de distribuição

Programas de controle de perda de água são fundamentais no gerenciamento de sistemas de água. Seu objetivo é planejar uma estratégia de custo efetivo para controlar perdas excessivas, com base na identificação das intervenções mais viáveis no sistema de água

e na implementação das mesmas. Um programa de perda de água compreende três partes essenciais: auditoria de água, intervenção e avaliação de resultados (AWWA, 2016).

Começa com uma auditoria de água, na qual a concessionária rastreia os volumes de água que fluem das fontes de água para os clientes, a fim de calcular as perdas de água e os indicadores de desempenho. No final da auditoria da água, as oportunidades são identificadas e uma estratégia que consiste em uma série de intervenções é definida. As intervenções geralmente estão em um desses três grupos: gerenciamento de pressão, detecção proativa de vazamentos ou substituição de infraestrutura. Após a conclusão da intervenção, seus resultados devem ser avaliados medindo e verificando a economia real de água ou outro tipo de melhoria econômica e operacional (SÁNCHEZ et al. 2020).

Segundo os autores, a existência de um sistema de medição de fluxo é essencial para conduzir um programa de controle de perda de água. Durante a fase de auditoria da água, fornecerá dados de entrada para o balanço hídrico e para calcular as perdas de água e, posteriormente, a avaliação dos resultados. Será crucial verificar a economia de água alcançada pelas intervenções. Os dados de medição de vazão de uma rede de água são provenientes de duas fontes principais: medidores de vazão em linha (medidores de vazão de turbina ou medidores ultrassônicos mais modernos) que fornecem dados operacionais à concessionária e medidores de clientes que fornecem informações sobre consumo medido faturado.

A rede de água pode ser dividida em setores para monitorar melhor os fluxos que entram e saem de cada setor, que são frequentemente chamados de Áreas de Medição Setorizada (*District Metered Areas - DMAs*). A setorização é muito útil para monitorar o aumento das taxas de vazamento em cada setor e manter as perdas de água em níveis aceitáveis. Além da setorização, a medição do cliente também é uma parte essencial do sistema de medição geral de uma rede de água e uma importante fonte de informações para elaborar o balanço hídrico e calcular as perdas (SÁNCHEZ et al. 2020).

2.1.3. Auditoria de água

A IWA (*International Water Association*) e a AWWA (*American Water Works Association*) propõem uma metodologia de balanço hídrico “*top-down*” que traça o fluxo de água de suas fontes até as propriedades do cliente, como mostra a Tabela 3:

Tabela 3: Balanço Hídrico de um sistema de distribuição de água

Volume de água que entra no sistema	Consumo Autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo Faturado medido	Água faturada
			Consumo faturado não medido	
		Consumo Autorizado não faturado	Consumo não faturado medido	Água não faturada
			Consumo não faturado não medido	
	Perdas de água	Perdas aparentes	Uso não autorizado	
			Erros de medição do cliente e erros de manipulação de dados	
		Perdas reais	Vazamentos nas redes de transmissão ou distribuição	
			Perdas nos tanques de armazenamento das concessionárias	
			Vazamentos nos ramais até o ponto de medição do cliente	

Fonte: (AWWA, 2016)

Uma vez que os dados do sistema de medição são coletados, eles devem passar por uma análise estatística para eliminar os outliers e avaliar as incertezas dos dados, principalmente a falta de medição dos medidores mecânicos e os erros sistemáticos de manipulação de dados. Em seguida, o balanço hídrico pode ser conduzido para calcular as perdas de água de acordo com as seguintes etapas:

1. Primeiro, calcule as perdas totais de água como a entrada de água menos o consumo autorizado (o consumo faturado, registrado pelos hidrômetros).
2. Em seguida, estime as perdas aparentes, que são uma soma de (I) uso não autorizado, (II) imprecisões de medição do cliente, (III) erros sistemáticos de manipulação de dados.
3. Finalmente, calcule as perdas reais de água (vazamentos e transbordamento dos tanques), como a diferença entre a perda de água e a perda aparente.

4. O resultado obtido para as perdas reais de água deve ser validado através da análise de componentes das perdas reais e uma análise “*bottom-up*” das perdas reais usando a área metropolitana (setorização) e uma análise dos fluxos mínimos noturnos.

O principal resultado da auditoria de água é o cálculo das perdas de água através do balanço hídrico e de análises adicionais de validação. Além disso, a auditoria de água calcula uma variedade de indicadores de desempenho para avaliar a eficiência da concessionária de água, tais como: Perdas reais (% ou litros / conexão de serviço / dia), Perdas aparentes (% ou litros / serviço) conexão / ano), Índice de Vazamento de Infraestrutura, Água não-faturada por volume (%), Indicadores de energia (kWh / m³) e assim por diante.

Uma vez calculadas as perdas de água e os indicadores, o próximo passo é determinar a avaliação monetária das perdas de água existentes e o nível atual de gastos para gerenciá-las.

Segundo Sánchez et al. (2020), em todos os sistemas de água, sempre haverá uma pequena taxa de perdas de água, uma vez que eliminá-las completamente seria antieconômico. Portanto, a avaliação econômica deve calcular o nível econômico de vazamento apropriado, no qual a concessionária não gasta mais em atividades de controle de perdas do que o valor do benefício que espera recuperar da redução da perda. Esse nível econômico de perda servirá para estabelecer metas de desempenho. Esses resultados servirão para planejar uma estratégia econômica para controlar perdas excessivas

De acordo com os autores, a auditoria da água deve garantir que apenas estratégias de intervenção econômicas para a perda de água sejam buscadas e identificar entre elas as estratégias tecnicamente e economicamente mais viáveis.

Depois de selecionar a intervenção mais apropriada, o último passo é formular um plano de implementação e avaliar e alocar recursos para isso. A IWA - *International Water Association* aponta quatro estratégias básicas que podem ser usadas para reduzir perdas (AWWA, 2016):

1. Detecção proativa de vazamentos.
2. Melhoria da velocidade e da qualidade dos reparos.
3. Gerenciamento de pressão.

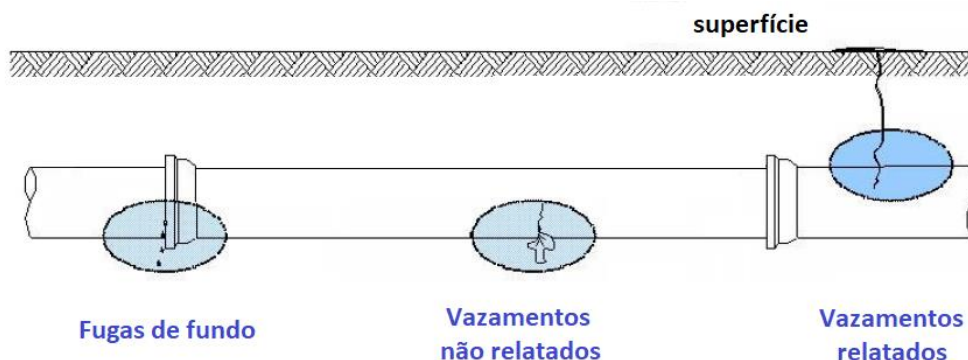
4. Reabilitação e substituição de infraestruturas.

2.1.4. Detecção de vazamentos

Existem três categorias de vazamentos (WSO, 2009), como mostra a Figura 6:

- Fugas de fundo - pequenos vazamentos que são indetectáveis com o equipamento de detecção de ruído de vazamento convencional.
- Vazamentos não relatados - Vazamentos com taxas de fluxo moderadas que escapam ao conhecimento do público e são identificados apenas por meio do trabalho de controle de vazamento ativo da empresa de abastecimento de água.
- Vazamentos relatados - Grandes vazamentos relatados por clientes, autoridades de trânsito ou qualquer outra parte externa devido à sua natureza visível e / ou perturbadora.

Figura 6: Tipos de vazamento



Fonte: (FILHO, 2005)

As técnicas de detecção de vazamento podem ser classificadas em quatro grupos:

- Pesquisa visual. São vazamentos relatados que emergem acima dos tubos ou que estão localizados em válvulas, hidrantes, medidores e outras partes expostas da rede.
- Levantamento de detecção de vazamento acústico. Esse é o método mais comum e barato de detecção de vazamentos. Um operador treinado usa dispositivos de escuta.
- Step-test. Isso envolve temporariamente setorizar partes da rede. Pequenas seções do sistema de distribuição de água são isoladas e, em seguida, têm seu fornecimento medido durante o período mínimo de fluxo noturno através de medidores de vazão portáteis.

- Levantamento de *logger* de ruído de vazamento. Registradores de ruído são instalados, permanentemente ou temporariamente, em acessórios para tubos, como válvulas e hidrantes.

Em redes de transmissão de maior tamanho, onde os vazamentos representam maior perda econômica e podem até mesmo interromper o fornecimento, instrumentos mais caros têm sido desenvolvidos, como radar de superfície ou sensores inseridos nos tubos.

De acordo com Bezerra (2013), tão importante quanto o reparo rápido dos vazamentos visíveis, é o controle ativo dos vazamentos “invisíveis”. Em muitos sistemas, os vazamentos invisíveis representam a maior parcela de perdas reais.

Segundo o autor, as empresas que possuem baixos índices de perdas reais dispõem de um programa de gestão de perdas proativo, que compreende planos de ação para identificar vazamentos invisíveis, otimização dos reparos e melhoria na infraestrutura das redes.

O autor afirma que o controle ativo não foca em reparos de rompimentos comunicados pela população, ou seja, aqueles reportados ao setor competente da empresa pelos técnicos, observação visual ou reclamações dos consumidores. O controle ativo de vazamentos trata-se de uma estratégia de controle de perdas periódica, que procede ao monitoramento da rede, que permite detectar e reparar vazamentos não comunicados.

O método mais empregado para o controle ativo de perdas reais, segundo Bezerra (2013), é a pesquisa de vazamentos não visíveis através de métodos acústicos, que consiste em utilizar aparelhos eletrônicos que permitem a escuta de ruídos, que podem ser associados a vazamentos não visíveis existentes nas tubulações. Os principais equipamentos utilizados nessa atividade são:

- Haste de escuta.
- Geofones mecânicos e eletrônicos.
- Locadores de massa metálica.
- Locadores de tubulações metálicas e não metálicas.
- Correlacionadores de ruídos.
- *Dataloggers* de ruído.

A Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI) possui normas para orientar as pesquisas de vazamentos. O Procedimento PR-051 estabelece as condições mínimas para a execução do Ensaio de Estanqueidade - Detecção de

Vazamentos Não Visíveis de Líquidos sob Pressão em Tubulações Enterradas que deve ser utilizado no Sistema Nacional de Qualificação e Certificação de Pessoal em Ensaios Não Destrutivos (SNQC-END). O procedimento compreende:

- Detecção de vazamentos não visíveis de líquidos sob pressão em tubulações enterradas.
- Técnica de escuta de ruído de vazamento por meio de haste de escuta.
- Técnica de escuta de ruído de vazamento através de geofones eletrônicos ou mecânicos.
- Técnica de detecção de vazamento por meio de correlacionador de ruídos e vazamentos.

A primeira fase da pesquisa de vazamentos consiste em verificar todos os pontos acessíveis da tubulação, ou seja, cavaletes, hidrantes, registros, válvulas, tubulação aparente, registro de passeio, se houver, utilizando a haste de escuta. É necessário caminhar na rua observando com atenção a possíveis vazamentos visíveis na rede, nos ramais e cavaletes. É preciso anotar as residências dos quais os cavaletes não foram pesquisados e também o motivo disso acontecer, como por exemplo, morador ausente. É necessário também verificar a situação das válvulas (não localizada, entulhada, inundada), com anotações na planta cadastral (ABENDI, 2004).

A haste de escuta é um equipamento que possui um amplificador mecânico ou eletrônico acoplado a uma barra metálica, que é utilizado para auxiliar o geofone mecânico ou eletrônico a buscar vazamentos no pé do cavalete, em ramais, válvulas, ventosas, hidrantes, torneiras e demais peças especiais e controle (TSUTIYA, 2008).

É utilizado também na detecção de ligações clandestinas de água. Contem diafragma de alta sensibilidade para identificar ruídos de vazamentos não visíveis e são fornecidos, na maioria das vezes, no comprimento de 1 e 1,5 m.

A haste de escuta eletrônica transmite o ruído do vazamento a um amplificador quando esta está em contato com um cavalete ou registro. Contêm mostrador digital que indica a intensidade do ruído, além de ser portátil, com bateria interna e fone de ouvido, o que evita interferências de ruídos externos (BEZERRA, 2013).

A próxima fase da pesquisa de vazamentos realiza-se com o geofone eletrônico, ouvindo-se todos os pontos suspeitos encontrados na pesquisa com haste de escuta, além das redes

de distribuição em que existem poucos pontos de contato (cavaletes muito distantes, anéis de distribuição, travessias, entre outros.). O geofone eletrônico é um equipamento acústico que possibilita identificar vazamentos em redes de distribuição de água, através da detecção de vibrações geradas pelo movimento da água fora da tubulação. O equipamento identifica ruídos situados, geralmente, entre as frequências de 100 e 2.700 Hz. Recomenda-se a escuta com geofones para pressões superiores a 15 mca.

Além disso, possui um amplificador que amplia os sinais captados pelos sensores, o que permite escutar o ruído do vazamento, além de medidor de nível de som, filtros que eliminam os ruídos indesejáveis do meio ambiente e permitem selecionar as faixas de frequências características dos sons do vazamento, sensor ou transdutor de alta sensibilidade e fones de ouvido para o operador escutar o ruído (Figura 7). Há também o geofone mecânico. Este, porém, é menos sensível que o eletrônico, não possui filtro de ruídos, e utiliza o princípio da estetoscopia na detecção de vazamentos.

Figura 7: Geofone eletrônico



Fonte: Bezerra (2013).

A haste de perfuração é um equipamento que possui uma barra metálica que é utilizado para confirmar o local suspeito de ter vazamento não visível. Possui capacidade para perfurar pisos de cimento e asfalto, e são fornecidos nas opções de comprimento de 1 e 1,5 m.

Uma forma precisa, porém mais cara, para detectar vazamentos não visíveis em redes pressurizadas é o uso do correlacionador de ruídos. Trata-se de um equipamento usado para detectar vazamentos em um trecho de tubulação limitado por dois pontos de sondagem, que são, geralmente, peças metálicas de controle, como válvulas, registros, hidrantes e ramais prediais. É composto, geralmente, por dois sensores-transmissores, que

são colocados nas peças de controle das duas extremidades do trecho que se deseja analisar, por amplificadores de ruído e uma unidade receptora de processamento (Figura 8). O equipamento tem como objetivo localizar a posição precisa do vazamento entre as duas extremidades do trecho, por meio das ondas sonoras do vazamento que se propagam nos dois sentidos da tubulação.

Figura 8: Correlacionador de ruídos



Fonte: Bezerra (2013).

Existem tecnologias mais atuais como por exemplo o *datalogger* de ruídos, que é um equipamento utilizado em pesquisas de vazamentos ocultos em grandes áreas, ficando instalado em pontos de contato direto com as redes de distribuição, como cavaletes, registros e válvulas. São programados para realizar uma varredura eletrônica na área onde ficam instalados (aproximadamente 100 metros de raio para cada sensor implantado), monitorando e analisando as características de ruídos detectados, e comunica-se via rádio com o equipamento receptor. O aparelho informa ao operador se há ou não a possibilidade de vazamentos na área de influência de cada sensor, o que delimita a área em que será necessária a pesquisa de vazamentos (GONÇALVES e ITONAGA, 2007).

2.1.5. Redução de perda de água através do gerenciamento de pressão

Vazamentos de água dependem da pressão da água nos canos, de acordo com a expressão:

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^N \quad (1)$$

Ela expressa a relação entre mudanças no vazamento (L) devido a mudanças na pressão (P). A expressão acima é conhecida como teoria da “Área Fixa e Descarga da Área Variável” (MAY, 1994). O expoente na relação vazamento-pressão é conhecido como valor N. Geralmente varia entre 0,5 e 1,5, mas um valor médio de N de 1,0 e um valor de

1,5 para o fundo pode ser assumido (THORNTON, J., STURM. R, KUNKEL, George, 2008)

A pressão na rede de distribuição não só tem um impacto significativo na quantidade de água que escapa dos vazamentos ativos, mas também tem um impacto surpreendentemente grande na taxa em que novos vazamentos são gerados. A frequência do rompimento do tubo principal e do vazamento de serviço aumenta acentuadamente quando é encontrada alta pressão, ou quando a pressão aumenta, ou quando opera a alta pressão constante. Operar um sistema de distribuição em um nível de pressão constante suficiente para manter o nível desejado de serviço ao cliente, mas não em um nível excessivo, pode gerar economia, reduzindo vazamentos e resultando em uma carga menor na distribuição da infraestrutura do sistema. Existem muitas abordagens diferentes para gerenciar de forma otimizada a pressão nas operações de distribuição de água, dentre elas podemos citar: dividir a rede em diferentes zonas de pressão, válvulas de controle de pressão, e controles de bomba (AWWA et al. 2008)

No que se refere a controles de bomba, a solução que apresenta maior eficiência energética é o uso de dispositivos de frequência variável, conhecidos comercialmente no Brasil por “inversores de frequência”. Esses dispositivos eletrônicos controlam a frequência da corrente e tensão alternadas que são fornecidas aos motores das bombas e, portanto, a velocidade com a qual os motores giram. A vazão de água impulsionada pela bomba é proporcional à velocidade de rotação da bomba. Portanto, variando a rotação da bomba se consegue variar a vazão e, conseqüentemente, a pressão hidráulica na tubulação. Dispositivos de frequência variável modernos podem atuar como controladores lógicos programáveis para que eles automaticamente variem a rotação das bombas e mantenham a vazão e a pressão em torno de valores pré-fixados.

Existem algumas possíveis preocupações com o gerenciamento de pressão. Primeiro, as pressões mínimas de água devem ser mantidas para satisfazer satisfatoriamente as demandas de água dos clientes. De acordo com o perfil típico de demanda de água dos consumidores urbanos, a pressão cai para níveis mínimos durante as horas centrais do dia, pois a demanda (vazão) está no máximo e durante essas horas a escassez pode ocorrer se a pressão for muito baixa. Durante a noite, a pressão normalmente aumenta à medida que a demanda cai ao mínimo. Portanto, é importante desenvolver uma estratégia de gerenciamento de pressão que leve em consideração o efeito do perfil de demanda de água e varie a pressão de acordo. Outra preocupação potencial é fornecer pressão

suficiente para os fluxos de combate a incêndios, de acordo com as normas locais. Finalmente, uma pressão baixa excessiva pode causar o fenômeno de retrorrefluxo (um fluxo indesejado de água na direção inversa) com possível intrusão de contaminantes na rede potável. Mais grave é o caso dos tubos com vazamento subterrâneo, nos quais baixa pressão pode permitir a possível intrusão de contaminantes microbianos e químicos (SÁNCHEZ et al. 2020).

2.2 Sistemas inteligentes de água

De acordo com Oliveira et al. (2018), devido ao crescimento populacional e às constantes mudanças climáticas, a demanda por novas tecnologias na gestão de recursos hídricos está se tornando cada vez mais importante. Em diferentes partes do mundo, a escassez de água costuma ser um problema. Dessa forma, os sistemas inteligentes de gerenciamento de água buscam tecnologias de informação e comunicação para melhorar o gerenciamento de tais recursos.

Ainda segundo o autor, nos últimos anos, vários aplicativos automatizados para monitoramento, gerenciamento e controle foram desenvolvidos usando o conceito da Internet das Coisas. Sensores e atuadores estão se tornando mais fortes, baratos e pequenos, o que torna sua aplicação onipresente. Os dados capturados pelos sensores são transformados em informações inteligentes, que por sua vez são usadas para determinar a operação dos atuadores, contribuindo para tornar o ambiente inteligente. De fato, existem muitos sensores para monitorar a água em aplicações industriais e domésticas, como sensores de fluxo, temperatura, nível e qualidade, entre outros. Além disso, os atuadores podem operar ativando dispositivos como bombas, válvulas, interruptores

O uso da Internet das Coisas (IoT) em uma rede de distribuição de energia e água, por exemplo, pode ajudar os provedores a controlar e gerenciar recursos para fornecer os insumos de forma proporcional ao crescimento da população. A rede inteligente usa a Internet das Coisas para conectar milhões ou bilhões de metros de edifícios à rede das concessionárias. Esses medidores são usados para coletar, analisar, controlar, monitorar e gerenciar o consumo. A IoT permite que as concessionárias aprimorem seus serviços para atender à demanda dos consumidores. Além disso, o uso da IoT na rede inteligente pode reduzir possíveis falhas, aumentar a eficiência e melhorar a qualidade do serviço (AL-FUQAHA, Ala et al. 2015)

Os “sistemas inteligentes de água” (*Smart Water Systems*) consistem em um grupo de soluções tecnológicas emergentes que ajudam os gerentes de água a operar com mais eficiência e, em menor escala, ajudam os consumidores no gerenciamento do seu consumo. Essas soluções são baseadas na alavancagem da Internet das Coisas, Big Data e análises. Como resultado, o sistema de água torna-se capaz de coletar e analisar dados e também de se comunicar com outros sistemas. A maior parte da operação do sistema de água (gerenciamento de pressão, controle de fluxo etc.) pode ser automatizada e otimizada (SÁNCHEZ et al. 2020).

2.2.1 Arquitetura

O conceito de Internet das Coisas (IoT) refere-se a uma rede de sensores físicos incorporados a eletrônica e software que permite obter dados em tempo real de quaisquer parâmetros mensuráveis como nível, fluxo, pressão, temperatura, correlações de ruído etc., disponível.

Segundo Lemos (2012), a Internet das Coisas pode ser explicada como sendo:

Uma infraestrutura de rede global dinâmica, baseada em protocolos de comunicação em que coisas físicas e virtuais têm identidades, atributos físicos e personalidades virtuais, utilizando interfaces inteligentes e integradas às redes telemáticas. As coisas/objetos tornam-se capazes de interagir e de comunicar entre si e com o meio ambiente por meio do intercâmbio de dados. As coisas reagem de forma autônoma aos eventos do “mundo real / físico” e podem influenciá-los por processos sem intervenção humana direta. (LEMOS, 2012).

A Figura 9 ilustra um exemplo de um fluxograma de informações entre os diferentes componentes de um sistema: sensores, atuadores, controlador, servidor de dados e dispositivos de interface:

Figura 9: fluxograma de informações entre os diferentes componentes: sensores, atuadores, controlador, servidor de dados e dispositivos de interface



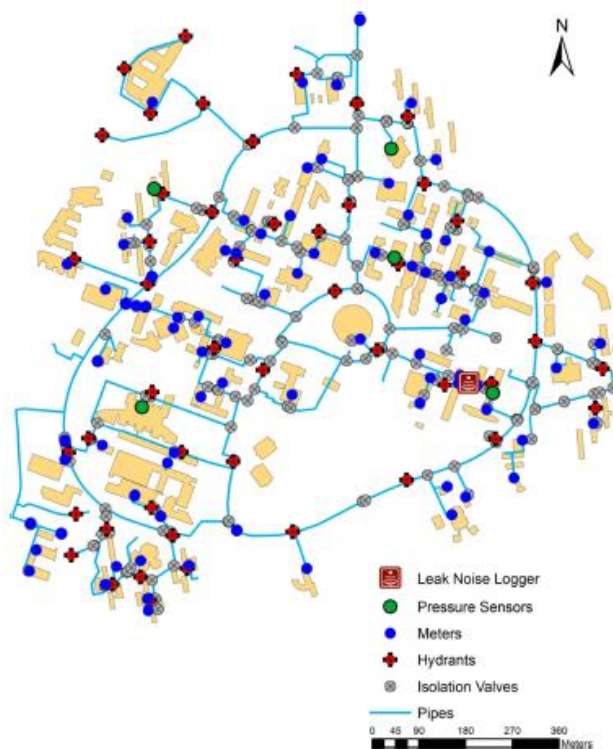
Fonte: (SÁNCHEZ et al. 2020).

O microcontrolador é o núcleo do sistema e atua como um concentrador de dados, recebendo dados em tempo real dos sensores e enviando “pacotes” de informações para o servidor web. O servidor web disponibiliza os dados on-line, onde podem ser armazenados, processados e analisados. O sistema pode ser limitado apenas para receber e exibir as informações para os gerentes humanos que tomarão as decisões, ou pode ter algum grau de inteligência do sistema que permita operar algumas partes da rede automaticamente. Seja um humano supervisionando ou os algoritmos do sistema, o microcontrolador receberá as ordens de controle (pontos de ajuste para variáveis como vazão ou pressão) e operará os componentes do sistema (bombas, válvulas ...). Ou seja, um conjunto de microcontroladores recebe as leituras do sensor e transmite os dados e, em seguida, recebe os comandos e opera o sistema. O “cérebro” da rede de água (humano ou AI) se comunica com os controladores para monitorar o sistema e realizar o controle remoto do mesmo (SÁNCHEZ et al. 2020).

2.2.2 Exibição visual de informações

Uma das funcionalidades mais básicas de um sistema inteligente de água e que fornecem benefícios quase imediatos às concessionárias é monitorar a rede. O monitoramento de dados em tempo real pode melhorar os procedimentos de manutenção, porque o sistema gera informações automaticamente quando ocorre um evento. Por exemplo, por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), quando o equipamento falha ou ocorre um vazamento, o gerente da concessionária pode despachar imediatamente a equipe para o local exato do incidente e fornecer informações específicas para esse tipo de equipamento (MILLER, Jeff M.; LEINMILLER, Mark, 2014). Exemplos podem ser vistos nas Figuras 10 e 11:

Figura 10: Mapa SIG de uma rede de água



Fonte: (FARAH et. al, 2017)

Figura 11: Exibição visual do consumo de água da Escola de Minas (UFOP).



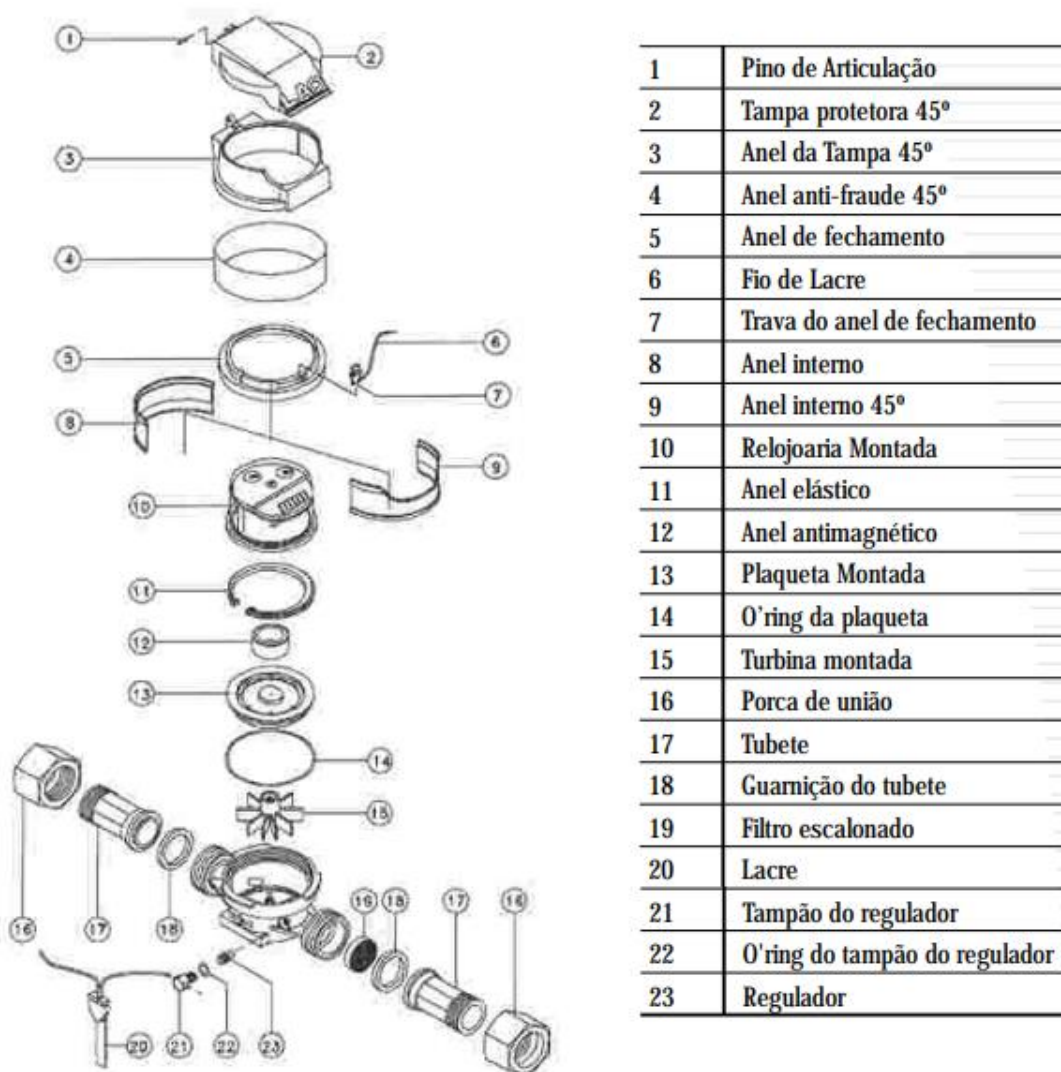
Fonte: (ISSO tecnologia, 2020)

2.2.3 Medição inteligente (*Smart Metering*)

Um medidor inteligente é um dispositivo eletrônico que registra um ou vários parâmetros e comunica as informações ao sistema. Pode ser configurado para rastrear vários parâmetros ao mesmo tempo, como pressão estática, fluxo, temperatura ou níveis de cloro. Dois tipos de medidores inteligentes são difundidos: medidores de água pulsados e medidores ultrassônicos não intrusivos (SÁNCHEZ et al. 2020).

Um medidor de água pulsado consiste em um hidrômetro volumétrico ou a jato ao qual se acopla um ímã à parte mecânica que gira no seu interior, denominada rotor, hélice ou turbina. Ao entrar no medidor, o fluido é direcionado em um ou mais jatos e aciona a turbina, gerando movimentos de rotação. A cada giro, o totalizador faz registros proporcionais à rotação da turbina, acumulando e indicando o volume em metro cúbico ou litros. Dessa forma, cada giro da turbina equivale a um volume de líquido que atravessou o medidor. A Figura 12 ilustra a visão explodida de um hidrômetro monojato:

Figura 12: Visão explodida de um hidrômetro monojato e listagem das peças que o compõem.



Fonte: Adaptado de catálogo LAO – medidor Unijato Magnético Relojaria Inclinada (45°) Linha 4000, 2020.

Ao acoplar um ímã à turbina, a cada giro dela se produz um contato e se gera um pulso elétrico. Cada pulso equivale a um volume de líquido que atravessou o medidor, em metro cúbico ou litros. A geração de pulsos elétricos permite que a leitura do medidor, que antes só podia ser acessada localmente, seja armazenada, transmitida e processada remotamente.

Para que se possa trabalhar de forma remota através de um medidor pulsado é necessário a instalação de um contador de pulsos para que os dados do volume de água medidos sejam armazenados e depois transmitidos para a concessionária analisá-los. Este tipo de medidor é bastante utilizado uma vez que seu custo é inferior aos medidores ultrassônicos, porém sua vida útil é menor pelo fato de possuir partes móveis que se desgastam como

tempo e tornam sua leitura imprecisa. Estes medidores também estão mais sujeitos a fraudes, onde são danificados pelos usuários com intenções de burlar o verdadeiro consumo de água. Outra vantagem importante dos medidores ultrassônicos em relação aos hidrômetros a jato é sua maior precisão. Isso reduz significativamente as perdas por submedição, que consistem no volume de água que atravessa o hidrômetro sem ser contabilizado. Devido ao hidrômetro ser a “caixa registradora” da empresa de saneamento, a submedição acarreta uma perda de receita considerável a essas empresas.

Os medidores ultrassônicos já possuem um sistema de radiofrequência, não sendo necessário nenhuma modificação para sua leitura remota. Por esse motivo, o funcionário da concessionária pode fazer a leitura desse aparelho por “*drive by*”, ou seja, ele não precisa mais adentrar em uma residência para realizar a leitura do medidor, basta passar cerca de 500 metros do aparelho que ele consegue coletar esses dados. Para facilitar ainda mais, é possível utilizar concentradores de dados. Estes equipamentos irão receber os dados das unidades medidoras, interpretá-los, armazená-los e transmiti-los à concessionária, não sendo mais necessário se ter funcionários percorrendo as ruas para realizar as leituras dos aparelhos.

Por não possuir partes móveis, os medidores ultrassônicos não se desgastam, tendo uma vida útil de cerca de 16 anos. Além disso, geralmente, possuem também alarmes antifraudes, o que já resolve um grande problema pelos quais passam as concessionárias. Em suma: são não-intrusivos e mais precisos, porém são bem mais caros se comparados aos medidores mecânicos.

As informações registradas por ambos os tipos de medidores inteligentes são processadas pelo prestador de serviços de água, mas também podem ser acessadas on-line pelo consumidor, que as visualiza na forma de gráficos e relatórios de consumo (SÁNCHEZ et al. 2020). A Figura 13 apresenta os dois tipos de hidrômetros que foram descritos acima:

Figura 13: Medidores de fluxo mecânicos (à direita) e ultrassônicos (à esquerda), fornecidos com transmissores sem fio



Fonte: C Badger Meter, Inc. (2020)

Os medidores inteligentes podem ser aplicados na micromedição -para registrar o consumo dos consumidores e emitir as faturas- e na macromedição -para totalizar volumes de água que entram num determinado setor ou obter dados operativos da rede, como a vazão-. Embora, além de volume ou vazão, qualquer sensor pode ser “inteligente” no sentido de ter a capacidade de transmitir suas leituras, sejam elas de pressão, parâmetros de qualidade da água, ou ruídos associados a possíveis vazamentos.

Os correlacionadores de ruído fixos são um exemplo de um dispositivo que registra e também analisa os dados antes de transmiti-los, a fim de relatar dados assertivos ao utilitário de água. Eles são equipados com filtros proprietários que comparam periodicamente o sinal acústico coletado pelo sensor com as assinaturas acústicas da linha de base em cada local. Quando uma anomalia acústica é identificada, o medidor envia um arquivo de dados para um módulo de análise. Esse módulo solicita automaticamente dados de correlação adicionais dos medidores adjacentes e executa várias combinações de correlação para direcionar com precisão o local da anomalia acústica. Se o vazamento

for confirmado, o dispositivo enviará uma notificação ao utilitário. Isso reduz muito o tempo de reconhecimento necessário para detectar um vazamento, mas também seu tempo de localização, pois os dados gráficos aumentam a confiança na localização exata do vazamento (SÁNCHEZ et al. 2020). A Figura 14 mostra um sistema inteligente de detecção de vazamentos, consistindo em correlacionadores acústicos desenvolvidos para serem instalados em hidrantes.

Figura 14: Tampa de hidrante inteligente



Fonte: Echologics e Mueller Co (2020)

Como mostrado, os hidrantes são preferíveis para colocar correlacionadores de ruído, em comparação às câmaras subterrâneas ou às caixas de válvulas. Isso porque oferecem um ambiente menos agressivo, bem como sinal de rádio mais forte e estável devido à localização da antena acima do solo. A Figura 15 mostra outro tipo de correlacionadores acústicos inteligentes ligados ao sistema de informação geográfica (SIG) que buscam vazamentos em adutoras.

Figura 15: Monitoramento da rede de água através de correlacionadores acústicos inteligentes ligados ao SIG.



Fonte: Echologics e Mueller Co (2020)

Este tipo de plataformas de monitoração não intrusivas pode ser instalado em uma câmara ou em qualquer outro local de uma rede de transmissão de água onde o acesso aos sinais acústicos da rede de água possa ser obtido. Eles são tipicamente colocados entre 500m e 1.000m separados. Os arquivos de dados são gravados em intervalos especificados pelo usuário e enviados sem fio para análise. Cada plataforma de monitoramento consiste em um processador de dados, hardware de comunicação e uma fonte de energia da bateria. Em horários designados que podem ser especificados pelo usuário, os dados coletados são enviados para um servidor em que algoritmos avançados interpretam os dados, pesquisam sinais de vazamento e geram relatórios (SÁNCHEZ et al. 2020).

2.2.4. Protocolos de Comunicação

A opção generalizada para transferência de dados de sensores de comunicação alimentados por baterias permanentemente implementados tem sido as redes de comunicações móveis 2G, nas formas de SMS para volumes de dados muito pequenos e GPRS para maior transferência de dados. Atualmente, as redes 2G estão a caminho da obsolescência e sendo desativadas para liberar espectro para 4G de maior capacidade.

A tecnologia de *Low Power Wide Area Network* ou LPWAN (Redes de Grande Área e Baixo Consumo) surgiu, recentemente, para tal contexto. Suas características permitem conectar dispositivos por longas distâncias, com baixo custo, com pequena largura de banda e, conseqüentemente, baixo consumo relativo de bateria. Por isso, mais eficiente, com a vantagem de ser uma tecnologia de conectividade barata (LEPIKSON, 2018).

Como as concessionárias de água estão cada vez mais investindo em telemetria e sistema inteligente, elas terão que lidar com a questão de escolher um protocolo de comunicação que seja acessível, não se torne obsoleto cedo demais ou cause incompatibilidade entre componentes mais antigos e mais novos. Talvez uma estratégia razoável seja manter comunicações móveis e trabalhar com 2G e 3G enquanto, ao mesmo tempo, preparar um roteiro na expectativa de mudar para NB-IoT para sensores novos e de substituição em cerca de 5 anos (NICK. Hunn, 2017). Os gerentes de sistemas das empresas de serviços de água devem garantir que a rede seja flexível o suficiente para acomodar essa transição.

Segundo Sánchez et al. (2020) outros aspectos importantes sobre os protocolos de comunicação são:

- O armazenamento de grandes conjuntos de dados dependerá da tecnologia da informação baseada na nuvem.
- A segurança cibernética será cada vez mais uma alta prioridade. A proteção contra incidentes de *hacking* deve ser considerada.
- A maioria dos sensores implantados na rede de distribuição de água é alimentada por bateria. Baterias são caras, bem como a visita aos locais para substituir os gastos. Os protocolos que fazem uma transmissão de dados inteligente podem aumentar a vida útil das baterias do sensor. A LPWAN, por exemplo, oferece baixos custos de transmissão e rede e mede a duração da bateria de 15 a 20 anos.
- Além do exposto acima, é importante notar que a transmissão de dados em tempo real nem sempre é necessária para que o sistema tenha um desempenho ideal. É importante usar a energia da bateria com moderação e somente quando necessário, o que significa que o sensor só se comunica quando as informações forem realmente úteis.

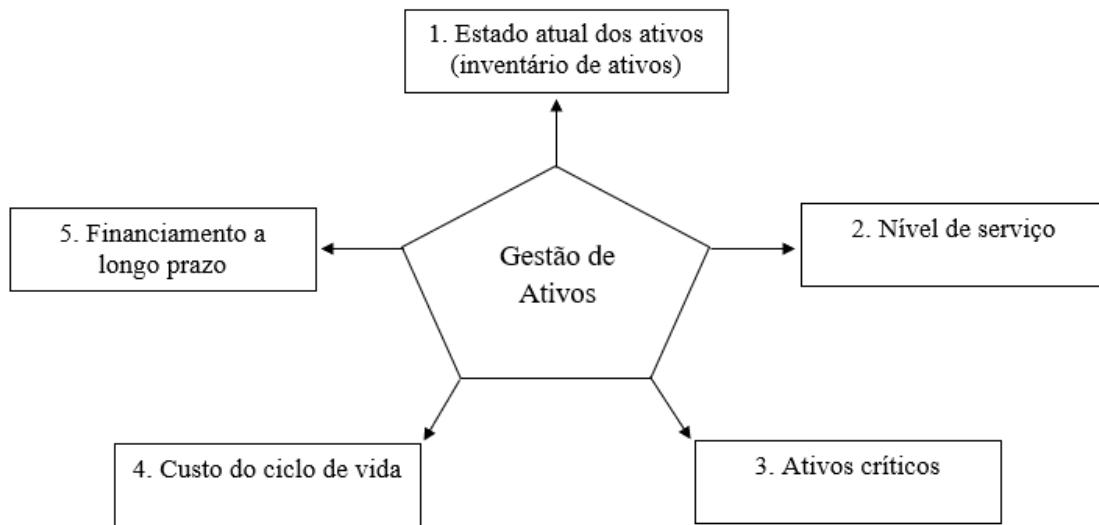
2.3. Aplicações dos sistemas inteligentes de água

No tópico a seguir serão apresentadas como são realizadas as principais aplicações de sistemas inteligentes de água e seus benefícios.

2.3.1. Gerenciamento de ativos e programação de reparos e substituições

Ativos físicos como tubulações, válvulas, bombas, poços, hidrantes, instalações de tratamento e outras infraestruturas tendem a se deteriorar com o tempo, aumentando o custo de operação e interrupções no fornecimento de água. O principal objetivo da gestão de ativos no setor de serviços de água é alcançar a sustentabilidade a longo prazo e prestar serviços consistentes de maneira eficiente. Através dos dados de ativos é possível tomar decisões informadas e orientadas por dados, aumentando a vida útil dos ativos e reduzindo as falhas do sistema (EPA, 2008; IAM, 2015). A Figura 16 mostra os cinco principais componentes do gerenciamento de ativos.

Figura 16: Os cinco principais componentes da gestão de ativos



Fonte: Adaptado de IAM (2015).

Um sistema inteligente de água depende de sensores remotos que coletam dados e aplicam a inteligência do sistema para monitorar e operar a rede. Dessa forma é possível implementar algumas funcionalidades de gerenciamento de ativos dentro dessa arquitetura. Por exemplo, um sensor que mede e transmite dados de fluxo e pressão em uma válvula pode ser facilmente adaptado para também transmitir dados sobre desgaste ou vibrações na válvula.

A evolução para as redes inteligentes de água permitirá a mudança para a manutenção dos ativos com base no monitoramento contínuo, o que apresentam as seguintes vantagens:

- Criar cronogramas de inspeção mais precisos para manutenção preditiva.
- Prolongar a vida operacional dos ativos com serviços preventivos, manutenção e alocação de carga de trabalho.
- Realizar manutenção e reparos corretivos em tempo hábil. Em particular, a detecção rápida de eventos reduz o tempo de conscientização dos problemas emergentes, acelera os tempos de resolução e se antecipa a eventuais reclamações dos clientes.
- Como qualquer falha em um componente é rapidamente detectada e corrigida, reduz o risco de escalada para uma falha catastrófica que também pode danificar outras partes do sistema.

- Gerenciar o risco de forma mais eficiente e melhorar a resposta a emergências produzidas por falhas de ativos.
- Prever as necessidades futuras de financiamento e priorize os investimentos que atendem aos requisitos reais do sistema.

A manutenção baseada no monitoramento de condição contínua de ativos requer considerável investimento de capital em sensores e em Tecnologia da Informação, mas reduz o custo geral de manutenção, aumenta a vida útil dos ativos e, como detecta rapidamente vazamentos e defeitos, também melhora a qualidade do atendimento ao cliente (SÁNCHEZ et al. 2020).

Outros exemplos de aplicações para monitoramento contínuo são os motores elétricos, dispositivos inteligentes e Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs). Os motores elétricos, além de acionarem os principais componentes, como bombas, ao serem fabricados com sensores podem medir a vibração, a temperatura, os parâmetros elétricos ou as horas de funcionamento. Esses sensores geram um alarme se a temperatura ou a vibração aumentar acima dos limites, caso contrário, eles continuarão registrando as medidas e enviarão periodicamente um relatório que servirá para manutenção preditiva baseada em dados (WEG Motors, 2020).

Finalmente, um sistema de monitoramento de pressão envolve monitorar a condição da válvula, o fluxo, a pressão e os transientes em toda a rede, enquanto otimiza a eficiência energética nas operações de bombeamento. Sensores de pressão localizados em tubos, válvulas e pontos críticos coletam os valores de pressão máxima, mínima e desvio padrão em cada intervalo de medição. Os dados são usados para operar o sistema de forma a minimizar a perda de água e o consumo de energia, mas também para evitar falhas por meio de manutenção preventiva e configuração de alarmes quando a pressão atinge níveis limiares. O sistema de monitoramento pode até identificar algumas causas de falha: manutenção necessária, se a válvula for desviada ou configurada incorretamente ou se não puder fechar ou abrir totalmente. Os engenheiros do sistema recebem esse pré-diagnóstico juntamente com os dados brutos do sistema de monitoramento, o que os ajuda a fornecer uma resposta rápida ao alarme (i2O Water, 2020).

2.3.2. Redução do tempo de detecção de vazamentos

Pequenos vazamentos ocultos são responsáveis pelo maior volume geral de perdas de vazamento em um sistema de distribuição ao longo do ano. Eles podem ocorrer por períodos de semanas, meses ou até anos antes de serem descobertos e reparados. Conseqüentemente, embora a taxa de vazão de tais vazamentos possam ser relativamente pequena, o volume de perdas ocultas de vazamento é geralmente uma proporção significativa do volume total do vazamento e excede a água perdida em eventos visíveis. Outra maneira através da qual um sistema de *Smart Water* reduz as perdas de água é reduzindo o tempo de conscientização e localização de novos vazamentos.

O tempo total de execução de um vazamento (T), que é o tempo decorrido desde a sua ocorrência até ser reparado, foi considerado um fator crucial que influencia o volume de água perdido por vazamentos (WSO, 2009). T (tempo de execução total) é a soma de A (tempo de percepção), L (tempo de localização) e R (tempo de reparo):

$$T = A + L + R \quad (2)$$

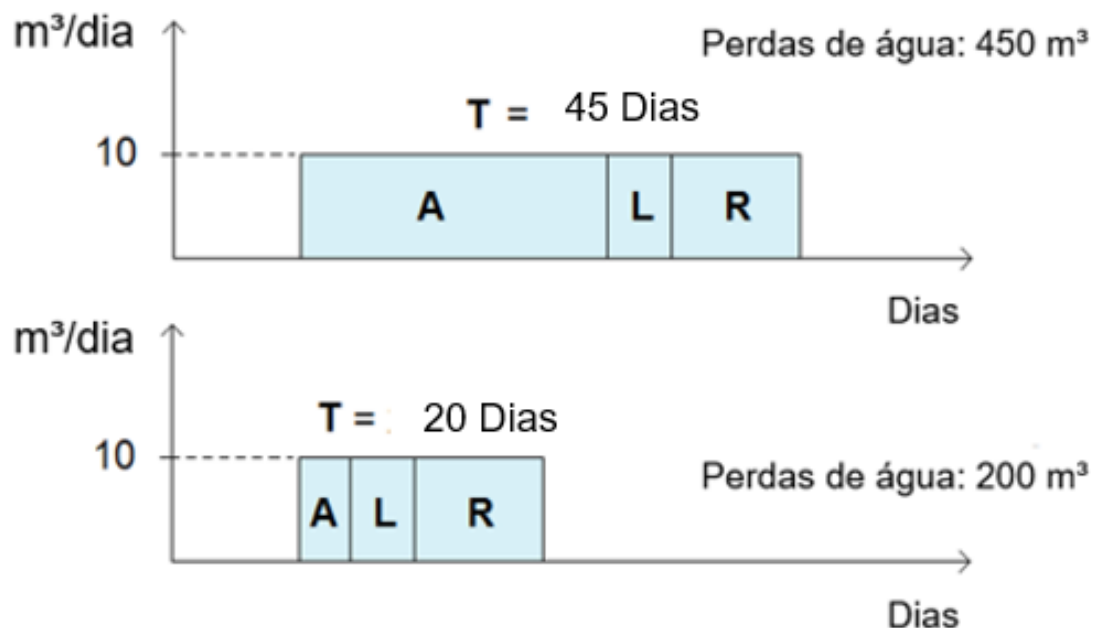
A - Tempo de conscientização de vazamentos é o tempo que passou desde que um vazamento ocorreu até ser detectado

L - O tempo de localização é o tempo necessário para identificar a origem do vazamento, uma vez que o operador esteja ciente de sua existência

R - O tempo de reparo é o tempo para reparar e interromper o fluxo de vazamento, uma vez que a posição do vazamento tenha sido identificada.

Vamos supor que um prestador de serviços de água consiga reduzir o tempo de conscientização de 25 dias para apenas 4 dias, enquanto mantém o mesmo tempo necessário para localização e reparo. A Figura 17 mostra como essa redução do tempo de conscientização, que é tecnicamente alcançável na maioria dos casos, seria traduzida em menor volume de água perdida durante o evento de vazamento

Figura 17: Efeito da redução do “tempo de conscientização” no volume de perda de vazamento



Fonte: (Sánchez et al. 2020).

Em particular, o tempo de conscientização pode ser bastante reduzido pela medição inteligente de pressão e fluxo, combinada com inteligência artificial (AI). A supervisão dos dados dos medidores inteligentes permite detectar qualquer interrupção dos valores “normais” de fluxo e pressão que podem ser causados por vazamentos, permitindo sua detecção precoce. Mas essa tarefa é demorada e requer um bom conhecimento do comportamento do sistema de água, o que significa que as concessionárias de água devem desviar recursos humanos altamente qualificados e alocá-los para monitoramento e interpretação de dados. É perceptível que, com os avanços no aprendizado de máquina e no reconhecimento de padrões, os computadores serão progressivamente capazes de desenvolver e calibrar os modelos sozinhos (SÁNCHEZ et al. 2020).

2.3.3. Resiliência diante de eventos climáticos extremos

A crise emergente da água não é exclusiva das regiões que enfrentam uma rápida urbanização nos países em desenvolvimento. Nas últimas duas décadas, uma série de eventos extremos de seca afetou áreas densamente povoadas e ricas: Melbourne na década de 2000 (seca do Austrália), Califórnia (2011 a 2017), São Paulo (2013 a 2015), Cidade do Cabo (2014 a 2018), partes do Texas (2018) e Brasília (2018). (SÁNCHEZ et al. 2020).

De acordo com o autor, secas excepcionalmente extremas e duradouras devem ser enfrentadas através de um uso mais eficiente dos recursos hídricos. Isso pode ser conseguido mediante (I) o uso de recursos “alternativos”, tais como águas residuais recuperadas, águas pluviais e dessalinização, e (II) melhorar a conservação da água na indústria, agricultura e cidades. Este último, particularmente reduzindo a perda de água na rede, é onde um sistema de *Smart Water* se destaca.

O outro lado da moeda é uma inundação extrema. Nesse sentido, a arquitetura e as funcionalidades dos sistemas inteligentes de gerenciamento de água permitem a reengenharia de práticas de gestão de águas pluviais e planejamento de infraestrutura urbana. (LANE, Alexander et.al. 2017) (NGUYEN, Khoi A. et.al. 2018) (DICKEY, Thomas. 2018). O conceito de *Smart Water* pode ser aplicado a sistemas de esgotos, a fim de conduzir um monitoramento contínuo das condições para melhorar a manutenção da infraestrutura, monitorar as inundações dos esgotos e também aplicar a inteligência do sistema e otimizar o uso da infraestrutura existente. Uma aplicação ideal é evitar o estouro de esgoto.

Se estiver chovendo intensamente em uma parte da cidade e o sistema de esgoto de alguns distritos estiver sobrecarregado, um sistema de esgoto inteligente poderá aproveitar a capacidade disponível em outros setores onde não choveu. Ele usaria sensores para monitorar os níveis de fluxo e operar válvulas e portões para desviar o excesso de fluxo para outras partes do sistema que possam lidar com isso. Um sistema de esgoto inteligente maximiza o uso de ativos existentes e reduz a necessidade de construir grandes esgotos e tanques de armazenamento.

2.3.4. Automação do gerenciamento da pressão

Segundo Sánchez et al. (2020), o gerenciamento de pressão é vital para manter as perdas de água em níveis aceitáveis. Além disso, pode gerar economia de energia nas estações de bombeamento. A inteligência do sistema calcularia os valores ideais para pressão e fluxo e operaria Válvulas Redutoras de Pressão - VRPs e bombas. Portanto, para operar o sistema e ajustar essas duas variáveis, existem dois componentes principais: VRPs acionadas eletronicamente e dispositivos de frequência variável que controlam a velocidade de rotação das bombas

De acordo com os autores, uma VRP “inteligente” usada para controlar remotamente a pressão depende de um controlador que se comunica com o sistema supervisório e com

uma válvula piloto avançada (VPA). Consta tipicamente de uma válvula redutora de pressão atuada por diafragma tipo globo com diâmetro considerável (> 50 mm). O controlador recebe dados de fluxo a montante da válvula, bem como dados de pressão de sensores localizados a montante, a jusante e também em um ponto de controle localizado sob a zona de influência da VRP.

Os autores afirmam que com a implementação de um sistema como o descrito acima, a rede de água obtém um conjunto de novas funcionalidades:

- Ele pode ser usado apenas para controle remoto, implementando uma curva de controle que os engenheiros humanos calcularam manualmente. O controlador controlaria a pressão ajustando-a a qualquer momento para um valor de saída fixo.
- No modo de otimização automática, não apenas a tarefa de controle, mas também o cálculo da pressão é delegado ao próprio sistema. Os algoritmos determinariam a estratégia de controle ideal para atingir uma pressão mínima de ponto de controle. O sistema ajusta automaticamente para perda de capacidade relacionada ao fluxo e fornece controle suave e preciso. Dependendo do nível de inteligência artificial envolvida nos algoritmos, o sistema poderia aprender e se adaptar às mudanças sazonais, culturais e relacionadas ao crescimento da demanda ao longo do tempo.
- Se um evento está programado para acontecer (por exemplo, um evento cultural ou esportivo que terá uma influência significativa no consumo de água), seus requisitos em termos de fluxo e pressão também podem ser programados com antecedência usando uma função de calendário simples. Isso garantirá o fornecimento de água, se a estratégia de controle preferida for o controle remoto ou a otimização automática da pressão.
- Restrições sobre como o controle é exercido em circunstâncias extremas podem ser definidas para garantir que a rede esteja protegida.

2.3.5. Gerenciamento de dados em sistemas inteligentes de água: tratamento estatística, análise e reconhecimento de padrões

Sem um gerenciamento eficaz dos dados fornecidos pelos sensores da rede, pode ser fácil ficar enterrado sob uma montanha de informações cada vez maior (OWEN, 2018). Ferramentas estatísticas e algoritmos poderosos são cruciais para processar esses dados com eficiência. Os primeiros fornecem controle de qualidade de dados e reduzem instâncias de “dados escuros”, de modo que os dados que servem como entrada para os

algoritmos são mais confiáveis. Enquanto isso, os algoritmos podem analisar grandes conjuntos de dados computacionalmente para revelar padrões e tendências, e permitir uma tomada de decisão mais efetiva.

A Análise Exploratória de Dados (AED) como o primeiro passo de qualquer aprendizagem pode revelar uma compreensão fundamental dos dados e sua estrutura permitindo, por exemplo, a identificação de padrões de consumo de água e variações ao longo do tempo, e outliers que podem ser identificados como usuários excessivos de água ou vazamentos.

O tratamento de valores faltantes é um passo fundamental na interpretação e modelagem de dados de sistemas de medição de água. Suas causas podem variar de configurações em equipamentos de medição (por exemplo, calibração, faixa de medição), transmissão de dados ou até mesmo manutenção de equipamentos.

Um quadro importante sobre métodos de imputação de valor ausente é apresentado em Bertsimas et al. (2018), onde diferentes conjuntos de dados e porcentagem de valores omissos são tratados e comparados como problemas de otimização.

A análise da distribuição dos valores omissos, como a hora do dia, dias da semana ou até mesmo os valores que precedem os valores omissos, pode revelar padrões indesejáveis na aplicação de algoritmos de imputação de dados perdidos (BERTSIMAS et al. 2018).

Um exemplo recente de uma técnica de modelagem para prever taxas de vazamento a partir dos dados da rede é o modelo BABE (*Background and Bursts Estimates*), desenvolvido em 1993 (EPA-US, 2010). O BABE é um modelo de análise de componentes estatísticos que estima as condições atuais de vazamento (perdas reais e vazões mínimas noturnas) e mostra a economia de vazamentos que a concessionária pode obter se melhorar suas atividades de controle de vazamento ativo.

Padrões de mudança ao longo do tempo em algumas variáveis como fluxo e pressão são previsíveis. Portanto, a comparação entre os valores atuais medidos por sensores e os que seriam esperados pelo conjunto de dados histórico, ou um modelo estatístico ou matemático, pode revelar possíveis falhas em uma área monitorada da rede (SÁNCHEZ et al. 2020).

3. Sistema de distribuição de água do Campus Morro do Cruzeiro: Descrição do sistema atual de distribuição

A UFOP tem sua sede principal em Ouro Preto, em um Campus nomeado Morro do Cruzeiro no bairro de mesmo nome. Além disso, incorporado a esse campus, existe as moradias estudantis e as repúblicas federais que também são abastecidas pelo mesmo sistema de água. O Campus possui seu próprio sistema independente de água, operado e mantido pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Essa água provém de um conjunto de poços artesianos localizados no Parque Metalúrgico Augusto Barbosa (Centro de Convenções da UFOP). Esse parque foi criado em 1946 para fins acadêmicos da Escola Nacional de Minas e Metalurgia. Ficou em atividade até a metade da década de 1960 e em 1969 passou a fazer parte da Universidade Federal de Ouro Preto onde hoje é um importante espaço de integração social, cultura, econômico e artístico. (HISTÓRIA, 2021). A Figura 18 apresenta o Parque Metalúrgico Augusto Barbosa:

Figura 18: Parque Metalúrgico Augusto Barbosa (Centro de Convenções da UFOP).



Fonte: (PEREIRA, 2018)

O consumo médio de água no campus está em torno de 630.000 litros por dia útil bombeada diariamente por 18 horas, sendo que 17 horas corresponde ao horário de ponta e apenas 1 hora no horário fora de ponta. Inicialmente havia um poço principal que tinha capacidade de fornecer até 32 m³/h de água (SILVA, 2014), porém no começo de 2019 o problema de assoreamento que vinha sofrendo piorou e essa vazão se reduziu até níveis inferiores ao consumo do Campus. A UFOP realizou nesse ano a perfuração de um novo

poço artesiano em local próximo ao poço principal. Portanto, desde 2020, a captação é realizada a partir de 3 poços localizados na área do Centro de Convenções:

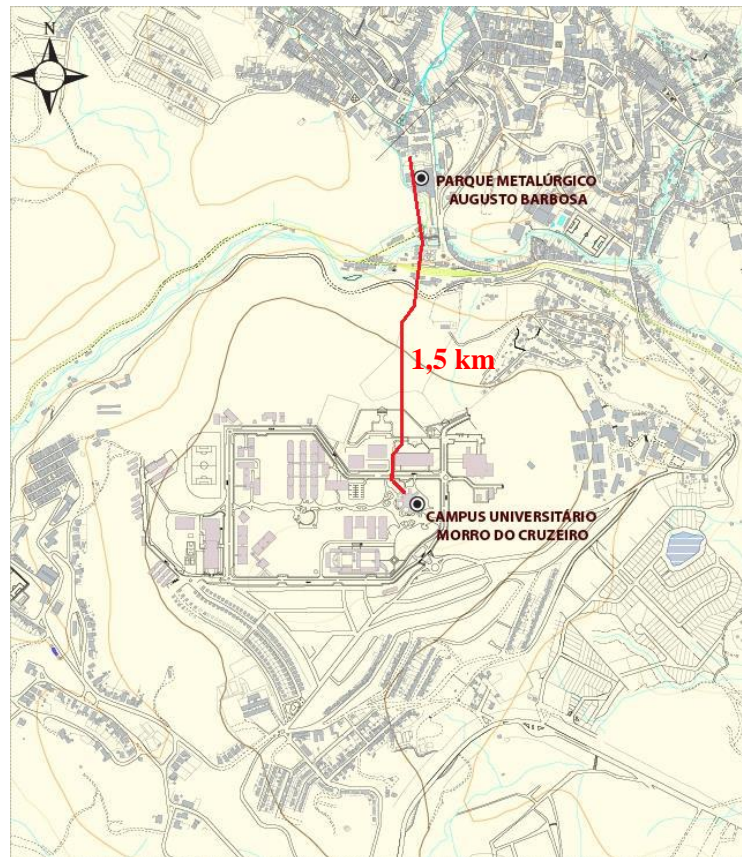
- 1 poço, o mais antigo, que fornece uma vazão de 6 a 9 m³/h de água, está inativo no momento.
- 1 poço que fornece 270 m³/dia de água. Porém este poço está assoreado e a bomba tubular está soterrada, podendo parar suas atividades a qualquer momento.
- 1 poço novo, que se esperava que fornecesse uma vazão de 50 m³/h de água, porém não foi possível perfura-lo suficiente e está fornecendo 20 m³/h, o que equivale a uma vazão de 360 m³/dia.

De acordo com Silva (2014), para a água do poço chegar até a Escola de Minas, deve ser bombeada desde uma profundidade de 120m até um reservatório de 350 m³ na superfície, para depois ser bombeada de novo até o alto do Morro do Cruzeiro, através de uma adutora de 1,5 km.

Na sua chegada no Morro do Cruzeiro, a água é distribuída para os principais reservatórios do Campus. Assim, a água pode ser bombeada diretamente para os reservatórios do Restaurante Universitário e para mais um dos reservatórios, do Centro de Convergência do Campus ou o reservatório circular próximo a Escola de Minas, simultaneamente.

A Figura 19 ilustra o percurso da adutora:

Figura 19: Adutora entre a casa de bombas do poço de captação (Parque Metalúrgico Augusto Barbosa) e o reservatório principal do Campus Morro do Cruzeiro



Fonte: (SILVA, 2014).

Como mostra a Figura 20, a água chega ao Campus por meio de uma tubulação em aço galvanizado de 3 polegadas, e passa pelas imediações do R.U. – Restaurante Universitário, onde uma derivação foi realizada para abastecer o reservatório inferior do restaurante com capacidade de armazenamento de 280 m³. Após atravessar a rua, a tubulação é dividida através de um tê que permite abastecer o reservatório do Centro de Convergência e a outra passa por um registro de esfera e abastece o reservatório nas imediações da Escola de Minas.

Figura 20: Chegada de água pela adutora até os dois reservatórios de distribuição do campus.



Fonte: Elaboração própria

Desde 2007, a rede de abastecimento de água do Campus vem sofrendo adaptações e modificações constantes para atender às vazões de consumo e abastecer as novas edificações. Uma dessas mudanças foi a construção do “Reservatório 1” que se encontra nas imediações da Escola de Minas e que tem capacidade de 500 m³. Ele passou a abastecer grande parte dos prédios do Campus além de garantir reserva de água para o caso de ocorrência de incêndios, com volume de cerca de 60 m³. A Figura 21 mostra o reservatório:

Figura 21: Reservatório 1, Campus Morro do Cruzeiro



Fonte: Autor, 2020.

Silva (2014) explica como é feito o abastecimento de água de todo o Campus. A partir desse reservatório, a água é distribuída para a rede de combate a incêndio dos prédios do laboratório e administrativo da Escola de Farmácia, dos Cursos de Medicina, do bloco central de salas de aulas e do prédio de serviços (restaurante terceirizado e refeitório). Canos de água internos abastecem outros edifícios na parte inferior do campus em trechos.

Existe também uma derivação que alimenta de forma direta a Escola de Farmácia, tanto o prédio de laboratórios quanto o prédio da administração, sem a utilização de reservatórios. Da mesma forma, ocorre uma derivação para abastecimento do prédio da Escola de Medicina, o Bloco de Salas de Aula e a Praça de Alimentação do Campus.

O Reservatório 1 abastece também o Centro Desportivo da UFOP e a Vila de Moradias Estudantis. Próximo ao Centro de Saúde, existe uma derivação que abastece dois reservatórios de 20 m³ cada, que fornecem água ao bloco de serviços, a nova Prefeitura Universitária, o Almojarifado e a garagem de veículos.

A tubulação de água alimenta o castelo d'água da Escola de Nutrição, onde há o encontro com a rede antiga, o prédio que abriga os departamentos de Turismo, Direito, Museologia e CEAD, além do Campo de Futebol e o Centro de Saúde do Campus.

Os demais prédios Canil 01 e 02 da UFOP, Laboratório de Práticas Cirúrgicas, Maternidade Canina, IFAC, os setores administrativos do prédio do R.U. além de outra ligação alternativa do DEGEO/DEMIN, concluem a rede de abastecimento.

O Reservatório 2 está localizado junto ao prédio denominado “Centro de Convergência”. É mais antigo e possui capacidade de 160 m³. A partir daqui a água é distribuída para consumo do prédio e para o abastecimento de outros edifícios como o Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, para as oficinas de Marcenarias e Serralheria do Campus, para o IFAC, prédio da PRACE e do banco Santander. A Figura 22 ilustra esse reservatório. (SILVA, 2014).

Figura 22: Reservatório 2, Campus Morro do Cruzeiro



Fonte: Autor, 2020.

Para que os reservatórios sejam abastecidos, existe todo um trabalho que é feito manualmente por um bombeiro hidráulico. Este vai até o local e aciona uma chave que permite que a caixa de água do centro de convergência receba água. Em seguida, o funcionário vai até o centro de convergência e assim que ele verifica que a caixa desse edifício está com o nível de água adequado, ele volta ao ponto Derivação e ativa a chave que permite que a água vá para o reservatório circular.

Percebe-se aqui que há uma grande demanda de tempo do bombeiro hidráulico apenas para acionar essa chave e verificar o nível de água.

3.1. Sistema de distribuição de água no prédio da Escola de Minas

A água que chega ao Campus é armazenada nos dois reservatórios principais e depois distribuída para os reservatórios inferiores das distintas edificações que compõem o campus. A grande maioria dos prédios do campus possui, portanto, um sistema de abastecimento indireto de água, que se caracteriza por uso de um reservatório inferior e um conjunto de bombas que abastecem um reservatório superior, desde onde é distribuída por gravidade até os pontos de consumo (bebedouros, pias, torneiras, mictórios, descarga dos vasos sanitários etc.).

A seguir apresenta-se a distribuição da água no prédio da Escola de Minas. A água chega ao reservatório inferior e daí a água é bombeada para o reservatório superior do prédio, situado numa torre circular a 30 metros de altura. A Figura 23 ilustra a casa das bombas

da Escola de Minas, situadas na base da torre circular que é um dos marcos visuais característicos desse prédio:

Figura 23: Casa de bombas e tubulações de recalque e de distribuição do reservatório superior da Escola de Minas



Fonte: elaboração própria

A Escola de Minas possui 31 banheiros no prédio. Os aparelhos hidrossanitários instalados destacam pelo seu elevado consumo (vazões de 8 litros por minuto nas torneiras e quase 20 litros por descarga nos vasos sanitários). Ressalta-se também a elevada incidência de pequenos vazamentos nas tubulações ocultas que distribuem água pelo prédio e nos aparelhos hidrossanitários. O efeito desses vazamentos se deixa sentir no elevado consumo noturno de água: em horários em que o prédio está vazio (apenas há a presença de um vigilante), entre às 00h e às 6h, o consumo médio de água é de 3000 litros. Este consumo noturno supõe 15% do consumo médio total num dia útil (20.000 litros) e em torno de 80% do consumo médio total num feriado (3750 litros).

4. Metodologia proposta para redução do consumo de água nas edificações do Campus

A seguir é apresentada a metodologia proposta para reduzir o consumo de água nas edificações do Campus. Esta metodologia consiste em três passos: “Medir o consumo (situação inicial) – Realizar as intervenções – Verificar a redução do consumo”.

As “intervenções” são todas aquelas medidas que, quando implementadas no prédio, têm o potencial de reduzir seu consumo de água, medido pelo indicador m^3/dia . Mais adiante nesta seção será listado um conjunto de intervenções de baixo custo aplicáveis nas edificações do Campus. Após realizada uma intervenção no prédio, é monitorado de novo o consumo de água durante um certo tempo, com o intuito de comprovar se houve de fato uma redução do mesmo. Denomina-se “verificação” ao processo de quantificar com assertividade o impacto que uma intervenção teve sobre um indicador ou índice relacionado com o consumo de água no prédio. Na metodologia aqui proposta, é recomendado o indicador de consumo diário no prédio: m^3/dia . Uma característica dos prédios do Campus é que permanecem quase vazios nos dias feriados, portanto resulta conveniente dividir o indicador de consumo diário em dois: “ m^3/dia útil” e “ m^3/dia feriado”. Outro indicador possível seria “ $m^3/pessoa/dia$ ”, calculado dividindo o consumo diário pelo número de ocupantes que houve esse dia no prédio. Esse último indicador seria indicado se houvesse um controle do número de pessoas que frequentam o prédio a cada dia, o que não é o caso dos prédios do Campus.

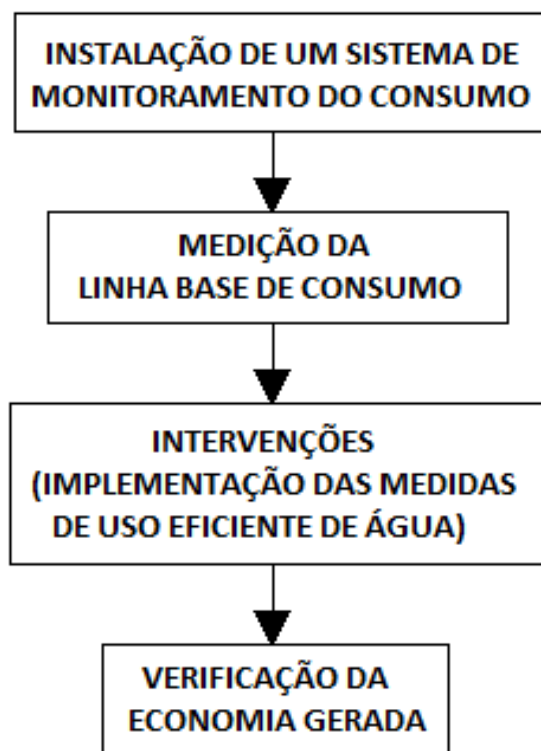
A metodologia “Medir o consumo (situação inicial) – Realizar as intervenções – Verificar a redução do consumo” pode ser aplicada de forma iterativa, seguindo o espírito de uma metodologia de melhoria contínua, similar a outras como o sistema PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) ou a norma NBR ISO 50.001 (Sistemas de Gestão de Energia).

Para que esta metodologia seja aplicável, é fundamental a instalação no prédio de um sistema de monitoramento contínuo do consumo de água. Tal sistema é constituído por um hidrômetro “inteligente”, isto é, que envia automaticamente suas leituras para um sistema “na nuvem” onde são registradas numa base de dados. De preferência, tal hidrômetro deve ser instalado na tubulação de distribuição que sai do reservatório superior. Um hidrômetro instalado nesse local permite o traçado do perfil horário de

consumo no prédio, assim como o registro do consumo em horários em que o prédio está vazio (noite e feriados) ou que dá uma estimativa confiável das perdas por vazamento no prédio. Se não for possível instalar o hidrômetro nesse local por razões técnicas ou de custo excessivo (tubulação metálica ou de grande diâmetro), o mesmo poderá ser instalado a jusante da bomba, na tubulação por onde a água ascende até o reservatório superior. Em este último caso, o hidrômetro permitirá registrar o consumo diário do prédio (indicador m^3/dia).

Devido à importância do monitoramento, aos três passos que compõem a metodologia, “Medir o consumo (situação inicial) – Realizar as intervenções – Verificar a redução do consumo”, será necessário adicionar a etapa inicial de “Implantação de um sistema de monitoramento do consumo” caso o prédio ainda não possua tal sistema. A Figura 24 ilustra o fluxograma da metodologia proposta.

Figura 24: Fluxograma da metodologia:



Fonte: Autor, 2020.

Uma vez instalado um sistema de monitoramento do consumo, é necessário estabelecer uma referência quantitativa que sirva como base para comparação do desempenho no uso de água na edificação, antes de qualquer intervenção que vise melhorar esse

desempenho. Essa referência fornecida pela “Linha base de consumo”, representa o consumo de água no prédio antes da intervenção. A “Linha base” consiste nos valores numéricos dos indicadores “m³/dia útil” e “m³/dia feriado”, calculados com a média do consumo registrado durante todos os dias do “Período de Determinação da Linha base de consumo”.

Após a intervenção, os valores desses indicadores são recalculados, usando a média registrada durante um período após as intervenções, denominado “Período de Verificação”. Os novos valores médios dos indicadores se denominam “Consumo medido após a intervenção”, e espera-se que sejam inferiores aos da Linha de Base.

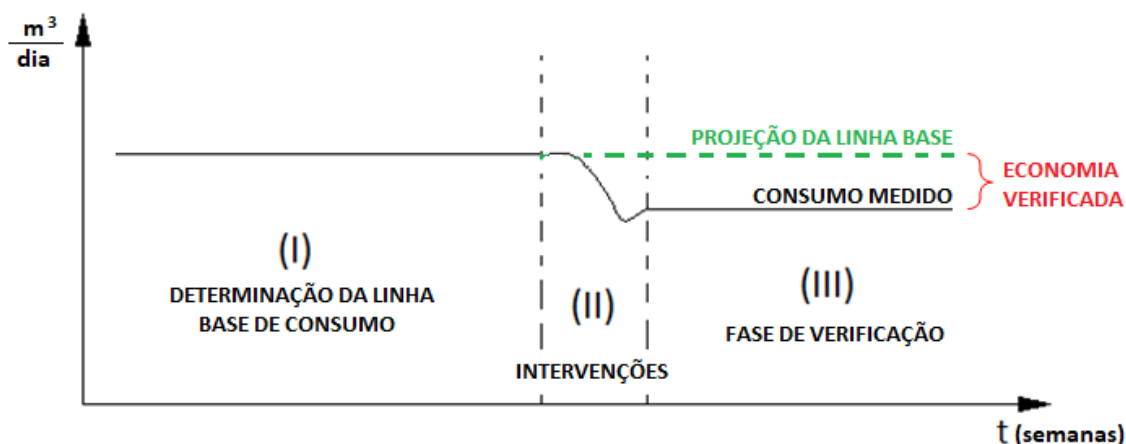
A duração de ambos os períodos (Determinação da Linha Base, e Verificação) deve ser a suficiente para que haja confiabilidade na determinação dos indicadores de consumo antes e depois da intervenção. O consumo de água no prédio pode variar em função de eventos pontuais (por exemplo, a realização de congressos), ou pode depender em parte de variáveis climáticas (ser maior no verão que no inverno). Portanto, para o cálculo dos valores médios dos indicadores “m³/dia útil” e “m³/dia feriado” recomenda-se considerar períodos de alguns meses consecutivos tanto antes quanto depois da intervenção.

A “Economia verificada” se refere à economia de água gerada pela intervenção. Sua unidade é m³/dia. É calculada como a “Linha Base de consumo” (consumo antes da intervenção) menos o “Consumo medido após a intervenção”:

$$\text{Economia Verificada} = \text{Linha Base} - \text{Consumo Medido} \quad (1)$$

Em outras palavras, a economia é calculada como a diferença entre a estimativa de qual seria o consumo se não houvesse ocorrido intervenção (Linha Base de consumo) menos o consumo realmente medido pelo sistema de monitoramento (Consumo Medido). A Figura 25 ilustra graficamente o cálculo da “Economia verificada”.

Figura 25: Determinação da economia de água gerada após intervenções numa edificação.



Fonte: Autor, 2020.

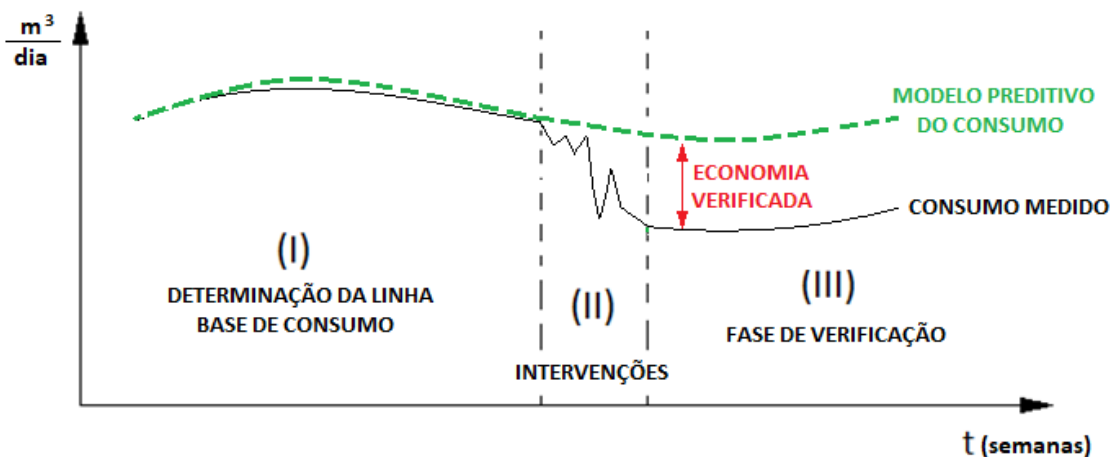
Para calcular a “Economia Verificada”, se usa a “Projeção da Linha Base” (valor médio dos indicadores m^3/dia antes da intervenção), conforme ilustrado na Figura 25. Essa projeção da linha base representa o consumo que, estima-se, haveria no prédio caso não tivesse acontecido a intervenção, e não é mais do que a média de consumo nos meses antes da intervenção.

Uma maneira mais precisa de calcular a “Economia Verificada” é usando um modelo matemático capaz de fornecer uma estimativa (predição) do consumo diário caso não tivesse acontecido a intervenção, sendo que esta estimativa está baseada em uma série de parâmetros que afetam o consumo de água (pessoas no prédio, etc.) em vez de no valor médio medido nos meses antes da intervenção. A estimativa de consumo fornecida pelo modelo substitui os valores médios da linha de base, de forma que o cálculo da economia verificada fica:

$$\text{Economia Verificada} = \text{Estimativa do modelo preditivo} - \text{Consumo Medido} \quad (2)$$

A Figura 26 ilustra graficamente este cálculo:

Figura 26 - Determinação da economia de água gerada após intervenções numa edificação, no caso em que há disponível um modelo preditivo do consumo de água.



Fonte: Autor, 2020.

O sistema de monitoramento armazena constantemente os registros de consumo diário de água no prédio em uma base de dados. Essa base de dados pode ser usada para a elaboração de um modelo preditivo do consumo de água no prédio, identificando as variáveis que mais influenciam esse consumo. Um modelo preditivo consiste num modelo matemático (por exemplo, um modelo em redes neurais) que calcula uma saída (predição do consumo diário de água) a partir de um conjunto de variáveis de entrada das quais depende essa saída. Além da ocupação do prédio, que é claramente a variável que mais influencia o consumo de água, poderiam ser testadas duas variáveis de conforto térmico, temperatura e umidade, que também poderiam influenciar o consumo de água.

Para um cálculo mais aprofundado da “Economia verificada” após a implementação de projetos de uso eficiente de água, o documento de referência é o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance - Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água, Volume 1 (EVO, 2012). Embora esse documento esteja orientado para projetos de uso eficiente de energia, seus conceitos e metodologia podem ser aplicados à economia de água.

4.1 Intervenções na Escola de Minas da UFOP

4.1.1 Escolha do prédio de atuação e intervenções

Ao iniciar o projeto, primeiramente foi necessário escolher em qual prédio seria instalado o projeto piloto e se faria as demais intervenções.

A escolha do prédio da Escola de Minas se deu por essa edificação ser uma das poucas do campus que possui torre de água sendo, dessa forma, possível a instalação de um sistema de monitoramento inteligente. As demais edificações possuem abastecimento direto a partir dos reservatórios principais do campus.

Quanto a escolha das intervenções a serem realizadas e quais materiais seriam utilizados, essas são baseadas no orçamento disponível da UFOP para empregar nesse projeto. A UFOP, em relação ao ano de 2020, teve uma redução de R\$ 8,9 milhões no orçamento discricionário, dinheiro este que é utilizado para custear despesas diárias, como contas de água, luz, segurança, bolsas de pesquisa e assistência estudantil. Da mesma forma, os recursos destinados a obras e equipamentos, que no ano de 2011 era de R\$ 31 milhões, hoje é apenas de R\$ 1,4 milhão. Assim sendo, a aquisição de equipamentos, novas construções e reformas ficam comprometidas. (SANTOS, 2021).

Logo, as escolhas das intervenções basearam-se no baixo custo dos equipamentos, porém sem negligenciar a qualidade dos mesmos, e na fácil instalação destes, para não se ter a necessidade de contratação de empresa especializada para executar as atividades.

Essas intervenções e métodos serão descritos a seguir.

4.1.2 Instalação de um sistema automático de monitoramento

O sistema inteligente de monitoramento do consumo de água instalado na Escola de Minas, permite aos gerentes de água da instituição acompanhar o consumo deste recurso no prédio em tempo real de forma remota, rápida, sendo necessário apenas o uso de um computador ou até mesmo um celular para se ter acesso aos dados. Além disso, esse sistema facilita a identificação de algum problema na rede de distribuição de água do prédio, uma vez que qualquer valor de consumo anormal de água será registrado pelo sistema. Permite também verificar se as intervenções realizadas nesse projeto foram eficazes ou não no seu objetivo de reduzir o consumo e as perdas de água na edificação.

Por esse motivo, a primeira etapa desse projeto piloto se deu pela instalação de um hidrômetro pulsado na tubulação de entrada da caixa de água do prédio, no início do ano de 2019, como mostrado na Figura 27, com o objetivo de quantificar a água consumida no edifício e identificar possíveis vazamentos que poderiam estar ocorrendo.

A opção mais adequada para o campus é a de hidrômetros multijato com emissor de pulso seco “*Red switch*”. O hidrômetro multijato é mais barato que o de ultrassom, e adquiri-lo

com emissor de pulso supõe apenas um pequeno acréscimo no valor final (por volta de 10%).

Figura 27: Hidrômetro pulsado instalado



Fonte: elaboração própria

Junto ao hidrômetro, foi instalado também o contador de pulso com conexão à internet, que pode ser visto na Figura 28. Esta é uma ferramenta completa de automação, medição e telemetria de processos e de consumo, com a finalidade de auxiliar na gestão da produção ou consumo de água, gás ou qualquer outro item capaz de ser contado, seja em indústria, comércio ou residência. É voltado à automação e análise de processos, coletando dados e apresentando inúmeras possibilidades de telemetria referentes ao local onde esteja instalado, proporcionando telemetria local ou remota de forma simples e prática. (ISSO Tecnologia, 2018)

Figura 28: Contador de pulsos



Fonte: Autor, 2020.

Foi necessário também a instalação de um receptor de internet no local, como mostra a Figura 29. O receptor é o aparelho que possibilita a captação e descodificação de sinais. Para a transmissão das leituras dos hidrômetros, uma plataforma baseada na internet (IoT) resulta muito mais barata do que uma baseada em radiofrequência, devido à existência de rede de internet no campus (cabada ou possibilidade de repetidores de wi-fi).

Figura 29: Receptor de internet



Fonte: Autor, 2020.

A instalação de todos esses equipamentos permite que se monitore o consumo de água do edifício. Após a coleta dessas informações, esses dados podem ser consultados através do sistema da ISSO Tecnologia, em tempo real, no seguinte link:

<https://automacao.issotecnologia.com/?p=Login&e=Vm9j6iBu428gZXXN04SBhdXRlbnRpY2Fkbwo=&u=Lw==>

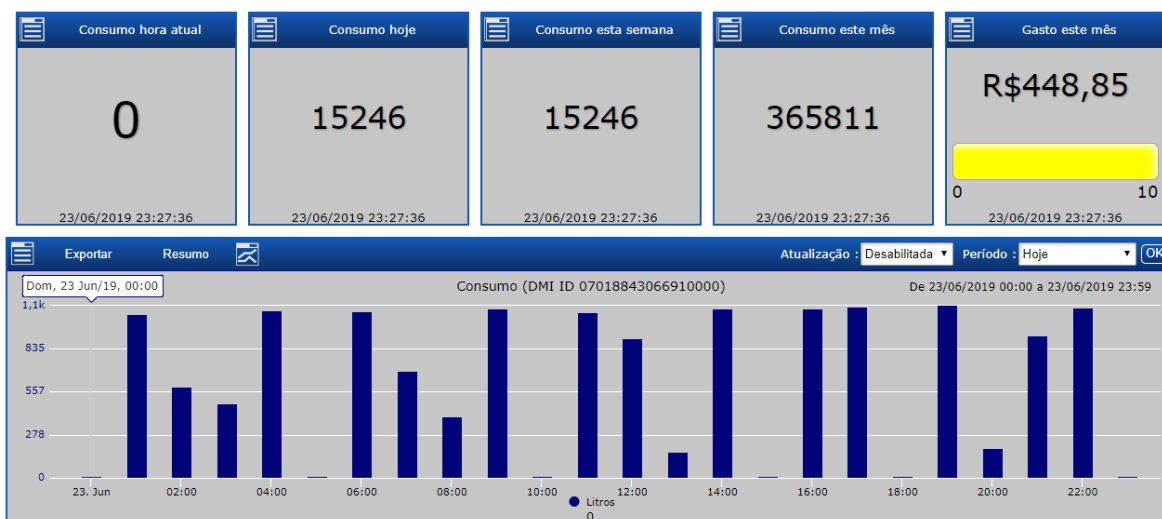
O usuário e senha para acessar o sistema são:

Usuário: aguafop

Senha: aguafop

A Figura 30 ilustra a interface do sistema:

Figura 30: Interface ISSO Tecnologia



Fonte: Autor.

Depois de logar com esse usuário e senha, e selecionar a opção "DataLog", pode-se conferir o consumo de água registrado pelo hidrômetro da Escola de Minas na última hora, 24 horas, semana, mês etc. Este sistema de monitoramento on-line pode ser replicado em todos os prédios do Campus e resulta uma ferramenta útil tanto para acompanhar o consumo quanto para detectar vazamentos.

4.1.3 Período de estabelecimento da linha de base

Antes que as medidas de conservação de água fossem implementadas, os dados de consumo do prédio foram coletados diretamente no hidrômetro instalado na entrada do reservatório superior do edifício durante um período de 5 meses a fim de obter uma linha de base confiável. As leituras foram feitas in loco, duas vezes ao dia, a primeira às 7 da

manhã e a próxima às 19h, de segunda a sexta. Aos finais de semana foram feitos cálculos para encontrar as leituras.

4.1.4 Intervenções realizadas

Como dito anteriormente, existem 31 banheiros no prédio da Escola de Minas. Esses banheiros totalizam 34 mictórios, 63 vasos sanitário e 76 torneiras. Dessa forma, a medida escolhida foi a instalação de arejadores de torneira para limitar a vazão.

O arejador é uma peça que se encaixa no interior das torneiras de maneira fácil e rápida, enroscando a mesma diretamente ou mediante o uso de uma chave especial. Tem o efeito de mistura ar no jato de água, fazendo com que o usuário sinta um volume maior saindo da torneira. Os arejadores regulam a vazão da torneira para valores de até 1,8 litros/minuto. A grande maioria de modelos de torneiras que são comercializados no Brasil apresentam vazões muito superiores a esse valor. Portanto, a instalação de arejadores de baixa vazão nas torneiras pode resultar em grandes economias de água para o prédio, além de possuir baixo custo de aquisição.

Logo, a primeira intervenção realizada nesse projeto foi a substituição de 44 arejadores padrão das torneiras de 1,9 cm por outros de baixo consumo (1,8 Litros/minuto), como pode ser visto na Figura 31:

Figura 31: Arejador de 1,9cm de diâmetro



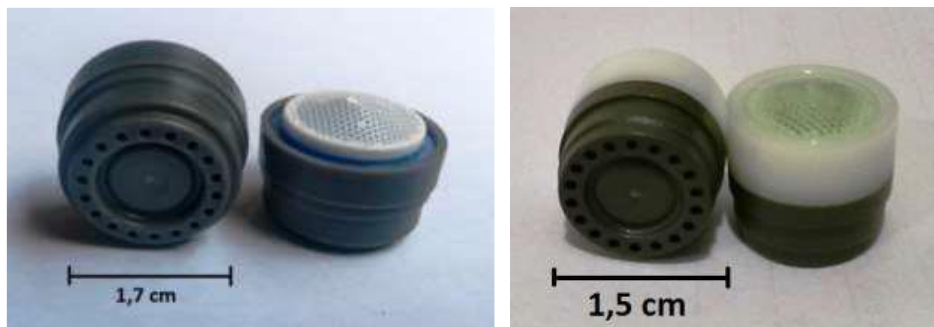
Fonte: (Illuminus, 2019)

A quantidade de torneiras afetadas por esta intervenção (44) supõe 58% do número total de torneiras da Escola de Minas. A intervenção foi realizada das 13h às 14h do dia 19/06/2019.

Na primeira semana de julho de 2019, ocorreu a troca de 16 arejadores de 1,7 e 1,5cm de diâmetro. A quantidade de torneiras afetadas por esta intervenção (16) supõe 21% do

número total de torneiras da Escola de Minas. A Figura 32 demonstra os arejadores utilizados:

Figura 32: Arejadores de 1,7cm e 1,5cm de diâmetro



Fonte: (Illuminus, 2019)

Por fim, em agosto de 2019, instalou-se 16 arejadores de 1,65cm de diâmetro como mostra a Figura 33. A quantidade de torneiras afetadas por esta intervenção (16) supõe 21% do número total de torneiras da Escola de Minas.

Figura 33: Arejador Embutido (cache) de 1,65cm de diâmetro



Fonte: (Illuminus, 2019).

Foram instalados também, para efeito de teste, um anel redutor de vazão em uma descarga de um vaso sanitário e um redutor de vazão em um mictório, que serão melhor apresentados posteriormente, junto a outras propostas de possíveis intervenções a serem realizadas na edificação. Essas medidas se mostraram também simples de serem implementadas além de promissoras, tendo potencial para incrementar ainda mais economia de água no edifício. A Figura 34 mostra os equipamentos utilizados:

Figura 34: Anel redutor de vazão para descarga de vaso sanitário (esquerda) e redutor de vazão para mictórios (direita).



Fonte: (Illuminus, 2019)

Apesar de ser um aparelho de baixo custo, o arejador mostrou um desempenho muito satisfatório após sua instalação, sendo possível verificar uma relativa redução no consumo de água do edifício, que será melhor explicado no item seguinte.

5. Resultados

5.1 Cálculo do consumo energético no sistema de captação e distribuição de água do campus

Como dito anteriormente, a UFOP não paga a água que é consumida no Campus Morro do Cruzeiro uma vez que a própria instituição é responsável pela captação e distribuição dessa água. Porém, para captar e distribuir essa água é necessário o uso de energia elétrica, energia essa que é fornecida pela concessionária do estado de Minas Gerais, a CEMIG. Logo, o cálculo da energia gasta para esse fim se torna importante para este estudo, pois a partir dele será possível monetizar as economias geradas pelas intervenções realizadas na Escola de Minas.

Dessa forma, nesta seção, o conteúdo energético da água consumida na Escola de Minas será caracterizado mediante o indicador kWh/m³, que é amplamente usado pelas empresas de saneamento sob o nome de “indicador de consumo específico”. Por meio deste indicador, pode ser estimado o consumo de energia elétrica (que será paga pela UFOP na conta mensal) associado ao consumo de água proveniente do poço.

A bomba tubular submersa que eleva água desde o poço artesiano de 6’’ possui 20 CV (14,7 kW) de potência e recalca uma vazão de $Q = 25 \text{ m}^3/\text{h}$. Estima-se que as características do poço mais novo e da sua bomba seguem as mesmas especificações do poço artesiano de 6’’.

A casa de bombas no Parque Metalúrgico abriga a instalação e equipamentos necessários para transportar a água através da adutora, até o Campus. Ela está equipada com dois conjuntos motor-bomba de 50 CV e 40 CV, sendo que o bombeamento é realizado mediante o primeiro conjunto (o de 50 CV).

Finalmente, o bombeamento predial na Escola de Minas é realizado mediante um conjunto motor-bomba de 1,5 CV (1,1 kW) de potência.

A Tabela 4 mostra o cálculo do indicador energético para a água consumida na Escola de Minas. O valor desse indicador depende dos três bombeamentos pelos quais passa a água antes de ser consumida no prédio, e representa seu conteúdo energético. Isto é, representa a energia elétrica (em kWh) que a instituição precisou gastar para levar cada m³ até os pontos de consumo no prédio (bebedouros, pias, banheiros etc.).

Tabela 4: Cálculo do indicador kWh/m³ para a água consumida na Escola de Minas

Bombeamento	de...	para...	Vazão (m ³ /h)	kWh /m ³	Fonte	
Poço artesiano 1	120 m de profundidade	Reservatório de sucção junto ao Parque Metalúrgico	6 a 9 m ³ /h (inativo)	0,60	informações da Prefeitura do Campus da UFOP	
Poço artesiano 2			15 m ³ /h (bomba ativa 18h por dia)			
Poço artesiano 3 (novo, 2020)			20 m ³ /h (bomba ativa 18h por dia)			
Adutora	Casa de bombas no Parque Metalúrgico	Reservatórios no Campus (cota 200m acima do Parque Metalúrgico)	26 m ³ /h (bomba ativa 18h por dia)	1,21		
Escola de Minas	Reservatório inferior no pátio da Escola de Minas	Reservatório superior no alto da torre circular da Escola de Minas (cota 30m acima do reservatório)	1,5 m ³ /h	0,73		Medições orientador (2019)
TOTAL do conteúdo energético da água consumida na Escola de Minas:				2,54		

Fonte: Autor, 2020.

Conforme mostra a Tabela 4, a soma dos três indicadores acarreta um valor total de 2,54 kWh/m³. Esse valor permite colocar um custo energético e, portanto, monetizar este recurso, o que é fundamental em programas de gestão e uso eficiente de água. Assim,

cada 1 m³ (1000 litros) de água economizados neste prédio supõem uma redução de 2,54 kWh na conta de energia da UFOP.

Em 2014, o volume diário bombeado oscilava entre 300 m³ em um dia de feriado e 540 m³ num dia útil (Silva, 2014). O consumo no campus aumentou, e em 2020, o volume bombeado era já de 347 m³ por dia de feriado e 630 m³ por dia útil, conforme informações da PRECAM – Prefeitura do Campus da UFOP.

De acordo com dados passados pelos servidores da UFOP que operam o sistema, as bombas operam 18 horas por dia, das quais apenas 1h é entre às 17h e às 20h. Esse último dado é relevante por se tratar do horário de ponta da tarifa elétrica. Nesse horário, válido para os dias úteis, o custo do kWh passa de 0,397 R\$/kWh para 1,639 R\$/kWh conforme a tarifa THS Verde A4, bandeira amarela (Cemig, janeiro 2020) em que está enquadrada a UFOP. Portanto, com esses dados, é possível calcular a energia consumida pela UFOP para distribuição da água no Campus, conforme é mostrado na Tabela 5:

Tabela 5: Cálculo da energia consumida pela UFOP, e despesas mensais associadas, para que a água chegue ao Campus (bombeamentos poço + adutora).

	Volume diário bombeado (m ³)	Volume bombeado em horário de ponta (17h às 20h dos dias úteis) (m ³)	kWh na ponta	kWh fora de ponta
Dias úteis	630	30	54,3	1086
Feriados e finais de semana	347	0	0	628
Total mensal (20 dias úteis e 10 feriados)	16.070	600	1.086	28.000
Custo mensal (Ponta e Fora de Ponta)			R\$ 1.780	R\$ 11.116
Custo mensal TOTAL			R\$ 12.896	

Fonte: Autor, 2020.

O valor do custo total mensal nos permitir calcular, juntamente com o volume diário de água bombeado para a UFOP, o custo para se levar cada m³ de água até o Campus, sendo esse resultado o valor de R\$ 0,80 por m³.

A Tabela 5 supõe 20 dias úteis por mês, um valor total do indicador energético de 1,81 kWh/m³ e os valores de 0,397 R\$/kWh Fora de Ponta e 1,639 R\$/kWh na Ponta.

Logo, é possível calcular também as despesas gastas com a distribuição da água no prédio da Escola de Minas, que é o foco do nosso estudo. Esse cálculo pode ser conferido abaixo na Tabela 6:

Tabela 6: Cálculo da energia consumida pela Escola de Minas devido ao seu consumo de água

		Volume diário bombeado (m ³)	Volume bombeado em horário de ponta (17h às 20h dos dias úteis) (m ³)	kWh na ponta	kWh fora de ponta
Bombeamento poço + bombeamento adutora (1,81 kWh/m ³)	Dias úteis	22	1,2	2,17	37,65
	Feriados e finais de semana	12	0	0	21,72
	Total mensal (20 dias úteis e 10 feriados)	560	24	43,40	970,20
Bombeamento no prédio da Escola de Minas (0,73 kWh/m ³)	Dias úteis	22	5,5	4,01	12,04
	Feriados e finais de semana	12	0	0	8,76
	Total mensal (20 dias úteis e 10 feriados)	560	110	80,3	328,50
TOTAL dos três bombeamentos (kWh/mês)				123,60	1298,60
Custo mensal (Ponta e Fora de Ponta)				R\$ 203	R\$ 516
Custo mensal TOTAL				R\$ 719	
Custo por m ³				1,28 R\$/m ³	

Fonte: Autor, 2020.

A Tabela 6 supõe 20 dias úteis por mês, um valor total do indicador energético de 2,54 kWh/m³ e os valores de 0,397 R\$/kWh Fora de Ponta e 1,639 R\$/kWh na Ponta.

Sendo uma instituição pública, é de interesse da UFOP fazer uso racional do dinheiro público e evitar desperdício com água e energia. Logo, o sistema inteligente de medição do consumo instalado no prédio da Escola de Minas, além de identificar vazamentos, possibilitando uma melhor pesquisa e reparação dos mesmos, permitiu mensurar as economias provenientes das instalações dos arejadores, que será detalhada a seguir.

5.2 Verificação da redução do consumo e economia gerada pela instalação dos arejadores

Após a conclusão das instalações dos arejadores nos banheiros do prédio, bem como o cálculo do indicador energético que permitiu monetizar o custo de captação e distribuição de água do prédio, realizou-se uma análise preliminar dos dados de três meses após a intervenção a fim de verificar se houve ou não economia provenientes da mesma. Para isso foi utilizado o PIMVP - Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Desempenho (EVO, 2014). De acordo com este protocolo, a economia de água é calculada como:

$$\text{Economia} = (\text{Período da linha de base Consumo de água} - \text{Período coberto pelo relatório Consumo de água}) \pm \text{Ajustes} \quad (3)$$

Os ajustes (clima, ocupação do edifício) foram desconsiderados.

Tabela 7: Economia gerada pelas intervenções

	Segunda a sexta		Finais de semanas e feriados (Edifício vazio)	
	Total de água consumida (litros/dia)	Consumo per capita (litros/dia/ocupante)	Total de água consumida (litros/dia)	Consumo per capita (litros/dia/ocupante)
Antes da Intervenção	18361.2	7.1	5083.7	299.0
Depois da intervenção	9992.6	3.2	1620.8	203.6
% redução	45.6%		68.1%	

Fonte: Autor, 2020.

A Tabela 7 supõe 20 dias úteis por mês e 10 dias sendo finais de semana e feriados. Como mostram os dados, o consumo médio de água foi reduzido em 45,6% nos dias úteis (de segunda a sexta-feira) e 68,1% nos finais de semana e feriados. A maior economia de água alcançada durante os períodos em que o prédio está vazio - fins de semana e feriados - revela que pequenos vazamentos nas torneiras foram responsáveis por uma parcela significativa das perdas de água no edifício, os quais foram minimizados após a instalação dos arejadores nas torneiras. A seguir, na Tabela 8, pode ser conferido a economia em real gerada pelas intervenções citadas:

Tabela 8: Economia gerada pelas intervenções em m³/mês e em real (R\$).

	Segunda a sexta (20 dias)	Finais de semanas e feriados (10 dias)	Total
Economia gerada em m ³ /mês	167.4 m ³	34.6 m ³	202 m ³ /mês.
Economia gerada R\$ (m ³ x R\$ 1,28)	214.3	44.3	R\$ 258,60

Fonte: Autor, 2020.

Considerando o valor gasto de energia por m³ de água distribuída apresentado na Tabela 6, pôde-se calcular a redução mensal na conta de energia do edifício. Realizando os cálculos obteve-se o resultado de uma economia de R\$ 258.60. A partir do cálculo dessa economia, juntamente com os custos para o desenvolvimento do projeto, é possível também calcular o tempo de retorno do investimento realizado nesse projeto para a compra dos equipamentos utilizados.

Os gastos com o desenvolvimento do projeto podem ser vistos na Tabela 9. Para a análise dos gastos foram considerados apenas os custos com os materiais utilizados, uma vez que não houve gastos com mão de obra, haja vista que as pessoas envolvidas na sua execução são alunas da universidade (graduação e mestrado), o professor orientador e os bombeiros hidráulicos da própria instituição.

Tabela 9: Materiais utilizados e seus custos.

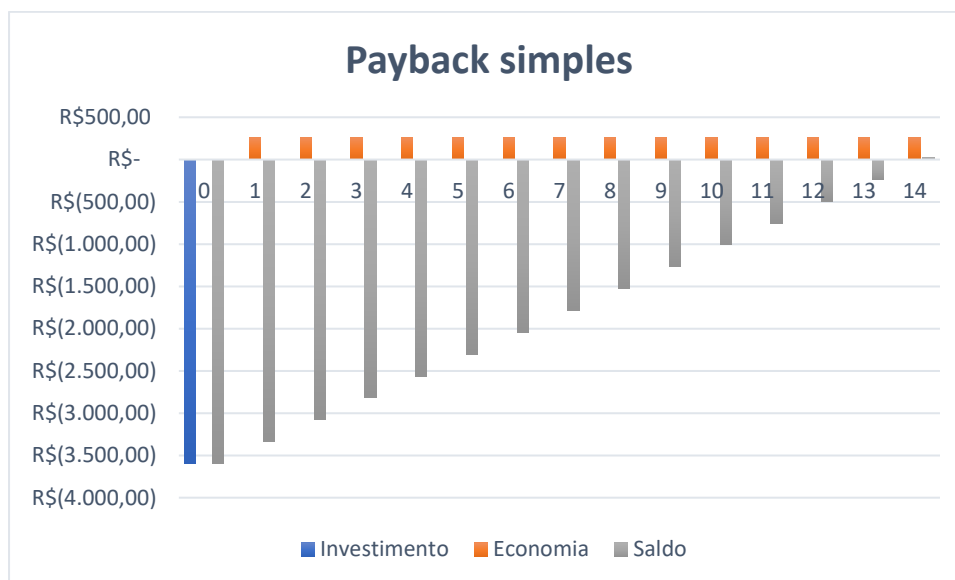
Materiais	Quantidade	Preço (R\$)
Hidrômetro com saída de pulso elétrico	1	250,00
Contador de Pulsos	1	1.550,00
Repetidor de sinal de internet	2	700,00
Arejadores de 1,9 cm	44	616,00
Arejadores de 1,7 e 1,5 cm	16	240,00
Arejadores embutidos de 1,65 cm	16	240,00
Total	80	3.596,00

Fonte: Autor, 2020.

Segundo Hastenreiter (2013), o método prazo de recuperação de investimento conhecido por *payback*, fornece o número de períodos de fluxo de caixa inerentes ao cenário

analisado, onde a soma dos benefícios obtidos é igual à soma dos custos, ou seja, este é o intervalo de tempo necessário para que os benefícios do investimento compensem seus custos. A Figura 35 apresenta esse cenário:

Figura 35: Tempo de retorno do investimento (Payback simples).



Fonte: Autor, 2020.

De acordo com os resultados mostrados no gráfico, o retorno do investimento feito no projeto será alcançado em 14 meses. Tendo em vista que a vida útil dos equipamentos utilizados é muito maior que o período de retorno do investimento, é possível concluir que o projeto mostrou ser viável para a instituição.

Portanto, com a instalação de um sistema inteligente no Campus, foi possível verificar o desempenho dos arejadores instalados nas torneiras, onde comprovou-se que esses equipamentos de simples instalação e baixo custo possuem um ótimo desempenho, gerando uma economia significativa nos custos com energia elétrica de edifício. Dessa forma, os próximos passos desse estudo consistem na criação de uma proposta de um sistema que contemple todo o campus universitário, a fim de expandir os benefícios obtidos no prédio da Escola de Minas.

5.3. Aplicabilidade das tecnologias de medição inteligente (*smart metering*) no campus

Ainda levando em consideração as dificuldades financeiras que a UFOP vem enfrentando, existem outras propostas que são economicamente viáveis de serem implementadas na

Instituição e que poderiam reduzir ainda mais o consumo e o índice de perdas de água na Universidade.

Atualmente, há apenas dois hidrômetros operando no campus, como mostra a Figura 36:

Figura 36: Hidrômetro DN 150 (3") na entrada do Reservatório 2 (à esquerda) e Hidrômetro DN 40 (1 1/2") na entrada do prédio do Centro de Saúde/Farmácia do campus (à direita).



Fonte: Autor, 2020.

Com um sistema de hidrometração tão precário, é impossível conhecer o nível de perdas por vazamento que existe no Campus Morro do Cruzeiro. Pode se inferir o volume de água que é bombeado desde a captação, a jusante da adutora, mediante o tempo de funcionamento da bomba ou da energia elétrica consumida. Embora, não é possível estimar que parte desse volume é efetivamente consumido nos prédios e que parte é perdida na distribuição.

As estratégias para reduzir o consumo de água podem ser aplicadas no interior das edificações universitárias do campus, ou na rede de distribuição do próprio campus.

Nos prédios do campus pode ser replicada a estratégia seguida na Escola de Minas, que como foi a apresentado, e que consiste em micromedição do consumo (instalação de pelo menos um hidrômetro pulsado com envio de dados automáticos pela internet) seguida de intervenções no sistema hidrossanitário do prédio.

A aplicação de estratégias para reduzir as perdas na rede de distribuição do campus, e a posterior verificação da eficácia das medidas implementadas, fica prejudicada pela ausência de um sistema de monitoramento. Para otimizar o consumo e combater desperdícios e vazamentos, é fundamental medir a quantidade consumida pelos distintos setores que compõem o sistema de distribuição de água do campus. Por isso, é fundamental complementar a micromedição nos prédios com a macromedição da água que chega aos diferentes setores de distribuição.

Um sistema de monitoramento automático, em tempo real, do volume de água que circula na rede de distribuição do campus permitiria os seguintes benefícios:

1. Controle de perdas na adutora e na rede de distribuição. O monitoramento possibilitaria estimar quanta água é perdida por vazamentos, identificar os trechos mais problemáticos, e detectar eventuais novos vazamentos rapidamente.

2. Melhorar a operação do sistema (manobras). As manobras são realizadas diariamente e consistem em fechar os registros de uma parte da rede para derivar a água que chega no campus para outra, e encher o reservatório circular. Este processo diário consome tempo dos servidores da UFOP e poderia ser automatizado. Uma plataforma de monitoramento online, em tempo real (IoT), permite isso de maneira fácil: o mesmo contador de pulsos que registra o consumo dos hidrômetros comanda as válvulas solenoides que abriam e fechariam os registros.

3. Verificar a economia de água gerada por projetos de melhoria das instalações (substituição de tubulações, pesquisa de vazamentos, arejadores nas torneiras dos prédios, etc). Há duas opções para um sistema de monitoramento automático em tempo real:

(I) hidrômetros multijato (com emissor de radiofrequência ou com emissor de pulso),

(II) hidrômetros com sensor de ultrassom (com emissor de radiofrequência ou com emissor de pulso)

Na Escola de Minas está operando um hidrômetro de pulso conectado à internet do campus (eduroam). Como o local era de difícil acesso, teve que ser usado um sistema de repetidores do sinal, o que supôs um acréscimo de R\$ 700 ao custo do sistema de medição, que totalizou R\$ 2.500. É provável que ao instalar pontos de leitura em locais de difícil acesso da rede, como por exemplo caixas de manobra ou locais afastados, seja necessário considerar também repetidores do sinal assim como pontos de energia elétrica para sua alimentação.

Um projeto básico para monitoramento da rede do campus, com um investimento inicial acessível para a instituição (em torno de R\$ 15.500,00), compreenderia a instalação de 4 hidrômetros pulsados:

- Um hidrômetro pulsado após a bomba, no trecho inicial da adutora, no Centro de Convenções da UFOP. Esse hidrômetro contabilizaria o total de água enviado para

o campus. A tubulação é de 3 polegadas em ferro galvanizado, e seria necessário a contratação de uma empresa especializada.

- Um hidrômetro pulsado de 1"½ na derivação que abastece ao RU - Restaurante Universitário. Esse hidrômetro contabilizaria o total de água consumida pelo RU, que é um dos maiores consumidores de água do sistema. A tubulação possui conexões roscadas e a instalação poderia ser feita sem cortar a tubulação, por equipe própria da UFOP, a um custo razoável.
- Um hidrômetro pulsado na derivação que abastece o Centro de Convergência e o prédio de Geociências. O local é onde a linha principal que vem da adutora, após abastecer o RU, se bifurca para abastecer de um lado o reservatório circular de 500 m³ e do outro o Centro de Convergência e (eventualmente) o prédio de Geociências. A tubulação é de 2 polegadas em PVC e a instalação poderia ser feita por equipe própria da UFOP a um custo razoável. Seria necessária a construção de uma caixa em concreto para sediar o contador de pulsos e o repetidor de sinal de internet. A instalação deveria prever a instalação futura de um segundo hidrômetro para monitorar a derivação que abastece o reservatório circular de 500 m³, já que o mesmo sistema que monitora um hidrômetro poderia monitorar dois sem custo adicional.
- Um hidrômetro pulsado a jusante do reservatório circular de 500 m³. Esse hidrômetro contabilizaria o total de água consumida em boa parte do campus, dentre eles: prédios de Farmácia, prédio de aulas, ginásios esportivos, residências universitárias. A tubulação é de 3 polegadas em ferro galvanizado, e seria necessário a contratação de uma empresa especializada.

Com a instalação desses 4 hidrômetros pulsados, que transmitem suas leituras para uma plataforma de Internet, seria possível implementar um sistema de monitoramento e gestão do consumo em tempo real, com detecção rápida de eventuais vazamentos. A instalação desse sistema de monitoramento do consumo de água iria supor um diferencial da UFOP e um avanço significativo na direção de tornar o Campus Morro de Cruzeiro num *Smart Campus*. Com relativo baixo custo, a UFOP disporia de um sistema avançado de gestão

de água para o uso das equipes de manutenção hidráulica, e também de pesquisadores e estudantes.

Essas leituras automáticas, junto com os dados do hidrômetro existente no Centro de Convergência do Campus (na entrada do Reservatório 2), permitiriam realizar um balanço hídrico da água que chega no campus, mapeando e identificando as áreas com maior índice de vazamentos. Essa informação seria a base para realizar programas de pesquisa de vazamentos, e priorizar investimentos para reparos e substituição de tubulações.

5.4. Propostas de Intervenções para o interior das edificações

Com respeito às possíveis intervenções a serem implementadas no interior das edificações, há um leque de medidas que se destacam pelo seu baixo custo, simplicidade técnica, e rapidez na execução. Portanto, as intervenções recomendadas para serem implementadas nas edificações do Campus são:

- Campanhas de conscientização de alunos, servidores, e pessoas que frequentam a edificação;
- Instalação de restritores de vazão nos canos de alimentação das torneiras dos banheiros;
- Instalação de redutores de vazão em mictórios;
- Regulagem periódica da vazão das descargas dos vasos sanitários, ajustando periodicamente o parafuso da válvula;
- Regulagem permanente da vazão das descargas dos vasos sanitários, mediante a instalação de anéis redutores de vazão dentro da válvula;

A primeira intervenção, “campanhas de conscientização”, pode consistir na colocação de cartazes e adesivos em pontos estratégicos (corredores e banheiros), divulgação nas mídias sociais, ou na realização de palestras ou eventos de educação envolvendo o pessoal da manutenção do prédio e as pessoas que frequentam a edificação. Costumam ser medidas de baixo custo, e que não impactam o normal funcionamento do prédio (não são intervenções no sistema hidráulico do prédio, por exemplo). A Figura 37 ilustra um cartaz divulgado em uma destas campanhas.

Figura 37: Campanha de conscientização de uso racional de água da UFOP, divulgada nas mídias sociais em 2018



Fonte: <https://ufop.br/noticias/campi/ajude-economizar-agua>, 2018

Outra intervenção possível para reduzir a vazão não apenas em torneiras, mas em qualquer aparelho hidrossanitário, é instalar restritores de vazão nos canos de alimentação desses aparelhos. Os restritores são peças de plástico circulares de diâmetro equivalente ao do cano, e que têm um furo no meio. Ao encaixá-los em pontos apropriados da tubulação, restringem a vazão que circula pela mesma ao deixar passar a água apenas pelo furo. Podem ser aplicados nos canos de alimentação de torneiras, mictórios, bebedouros ou qualquer outro ponto consumidor de água. São fáceis de instalar e de um custo muito menor que os arejadores. A Figura 38 ilustra estes dispositivos.

Figura 38: Restritor de vazão universal para canos de $\frac{1}{2}$ ” c/ furo de 2, 5mm.



Fonte: (Illuminus, 2019)

A intervenção seguinte segue o mesmo conceito da anterior, mas na forma de uma peça específica para mictórios. A descarga em mictórios pode ser automática, mediante sensores de presença ou temporizadores, ou manual, requerendo que o usuário acione a válvula de descarga. Em alguns locais, se deixa a válvula de descarga constantemente

aberta, regulando a mesma para descarregar uma baixa vazão. Em todos os sistemas anteriores podem ser usados redutores de vazão em mictórios, que são peças que se instalam no cano entre o mecanismo de descarga do mictório e a louça sanitária. A instalação dessas peças é rápida e simples. A Figura 39 mostra um desses redutores de vazão e seu ponto de instalação.

Figura 39: Redutor de vazão para mictório



Fonte: (Illuminus, 2019)

As duas últimas intervenções se referem a um dos usos que mais consomem água nos banheiros das edificações: as descargas dos vasos sanitários. Para reduzir o volume de água consumido em cada descarga, há duas intervenções possíveis. A primeira é a regulagem da vazão de descarga, mediante o ajuste periódico do parafuso da válvula. Esta intervenção não requer investimento em novas peças, nem ferramentas específicas (apenas uma chave de fenda) mas consome tempo dos operários da manutenção, que devem percorrer os banheiros do prédio e realizar ajuste do parafuso de cada válvula. O parafuso regula a mola que controla o volume da descarga e, ao apertá-lo, se reduz o volume que será descarregado ao acionar a válvula. Mas, com o passar do tempo, a mola tende a voltar a sua posição original, e o parafuso deve ser regulado de novo. Este problema da desregulagem com o tempo pode inviabilizar esta intervenção em prédios onde a equipe de manutenção é reduzida e possui muita carga de trabalho. A Figura 40 ilustra uma válvula de descarga acoplada na tubulação que alimenta um vaso sanitário.

Figura 40: Base de válvula de descarga com parafuso de regulagem



Fonte: (Hydra Max, 2019)

A vazão de descarga dos vasos sanitários pode ser reduzida de forma permanente, numa única intervenção, mediante a instalação de peças conhecidas como “anéis redutores de vazão”. Funcionam de maneira similar aos restritores de vazão em canos, ou aos redutores de vazão em mictórios. No caso dos anéis, a peça se acopla no exterior do corpo da válvula e reduz o espaço disponível para que a água seja liberada quando a descarga é acionada. Como resultado, o volume descarregado em cada acionamento se reduz consideravelmente. O anel redutor é fácil de instalar: se retira a válvula de descarga de sua base na tubulação que alimenta o vaso sanitário, se encaixa o anel no exterior da válvula, e se rosca a mesma de volta a sua posição original na base. Esta intervenção requer investimento para a compra do anel, mas tem a vantagem de ter um efeito permanente. O anel poderá ser retirado em qualquer momento, se o usuário assim o desejar, voltando-se ao volume de descarga inicial. A Figura 41 ilustra um anel redutor (esquerda) e o mesmo encaixado numa válvula de descarga (direita).

Figura 41: Válvula de descarga Hydra Max com anel redutor de vazão



Fonte: (Illuminus, 2019)

Por último, vale a pena mencionar outra possível intervenção, que foi descartada para os prédios deste campus por ser de custo mais elevado e não estar disponível para todos os modelos de válvulas de descarga dos vasos sanitários. Trata-se da aquisição de válvulas de duplo acionamento que substituem às existentes de acionamento único. As válvulas de duplo acionamento vêm com uma placa com dois botões que acionam a quantidade a ser utilizada: seja a descarga com volume reduzido para limpeza rápida, que consome aproximadamente 3 litros de água, ou seja a descarga completa ideal para a limpeza total da bacia, que consome aproximadamente 6 litros de água. Mediante este dispositivo, se permite ao usuário a possibilidade de economizar água na descarga, acionando o botão que estimar mais conveniente em cada ocasião. A Figura 42 ilustra esse dispositivo:

Figura 42: Válvula de duplo acionamento



Fonte: C&C, 2020.

A realização de todas essas intervenções contribuiria para uma maior economia de água na Escola de Minas e se replicadas para os demais prédios, garantiria uma redução significativa do consumo de água de todo o Campus. Com o sistema inteligente de medição instalado na edificação seria possível mensurar a eficácia de todas essas intervenções propostas, e na possibilidade desse sistema ser expandido por toda a universidade, este contribuiria para uma gestão mais eficiente do recurso na instituição.

5.5 Aplicabilidade da metodologia utilizada na Escola de Minas nas demais edificações do Campus

A metodologia proposta, que consiste em “Medir o consumo (situação inicial) – Realizar as intervenções – Verificar a redução do consumo” possui aplicabilidade em todos os prédios do Campus, independentemente da sua tipologia.

A Escola de Minas é uma edificação que apresenta espaços administrativos e de sala de aula. Esta tipologia é comum a vários prédios do Campus: Escola de Farmácia, Geociências, Música e Artes Cênicas, ICEB, Nutrição, ICEB, NEAD, Medicina e Bloco de Aulas.

A metodologia também pode ser aplicada nos laboratórios e no conjunto de prédios do Centro Desportivo. Em ambos os tipos de prédios, há intervenções (medidas de uso eficiente de água) comuns às dos prédios administrativos e de sala de aula, já que possuem banheiros. Mas também há a possibilidade de realizar outras intervenções específicas. Assim, no caso dos laboratórios, pode ser implementada a regulação dos equipamentos destiladores e aproveitamento da água usada no circuito de refrigeração dos mesmos. E no caso do Centro Desportivo, pode se colocar ênfase em verificar a estanqueidade da piscina, por exemplo.

O Campus também apresenta conjuntos de moradias estudantis, tanto casas quanto prédios verticais de apartamentos. Para este tipo de edificações, pode resultar interessante focar nas intervenções do tipo “campanhas de conscientização” e aproveitar para educar aos alunos moradores a fazer um uso racional da água. Por exemplo, pode se realizar uma palestra educativa com os responsáveis das repúblicas estudantis, e fornecer um “kit” de equipamentos economizadores de água (arejadores para as torneiras, restritores de vazão) para cada uma das repúblicas, de forma a envolver os próprios alunos na instalação desses equipamentos.

Finalmente, estão os prédios de serviços de refeitórios, como o Centro de Vivência, e o Restaurante Universitário. Este último é um dos maiores consumidores de água do Campus. Os serviços de refeição são operados por empresas privadas que pagam pela concessão da licença de operação. Contudo, essas empresas privadas não pagam à UFOP pela água que consomem. Atualmente a UFOP cobra pela energia elétrica consumida no Restaurante Universitário, por meio da emissão mensal de uma GRU – Guia de Recolhimento da União, onde são usados os valores da tarifa elétrica vigente no Campus, a THS Verde A4. A UFOP paga a energia elétrica consumida por todo o

Campus à concessionária Cemig, e depois repassa às empresas privadas o valor correspondente ao consumo de cada uma delas. A cobrança do volume de água consumida mensalmente no Restaurante Universitário poderia ser implementada de maneira similar. A UFOP poderia incluir na GRU que é emitida todo mês à empresa que opera no prédio, uma taxa proporcional ao volume de água consumida. Essa taxa seria calculada a partir do indicador energético kWh/m³. Na Tabela 5 foi calculado que a energia gasta em captação + adução corresponde a 1,81 kWh/m³. A Tabela 6 precifica essa energia de acordo com os valores da tarifa elétrica vigente, de modo que cada m³ que é entregue ao Restaurante Universitário custa à UFOP o valor de R\$ 0,80. Portanto, seria possível, e justo, faturar à empresa que opera nesse prédio uma taxa de 0,80 R\$/m³ de água consumida.

A instalação de um sistema de monitoramento do consumo de água no Restaurante Universitário permitiria à UFOP cobrar pela água fornecida a este prédio, o que incentivaria à empresa que nele opera a adotar medidas de uso racional de água. Uma vez implantado o sistema de monitoramento, a UFOP poderia inserir este prédio, que é um dos maiores consumidores de água do Campus, no seu programa de gestão de recursos hídricos e prestar, à empresa que gere o prédio, assistência técnica no tocante às intervenções mais adequadas para reduzir seu consumo.

5.6. Propostas de trabalhos futuros

Segundo Kiperstok (2017), a economia em edificações comerciais e institucionais é tratada de forma diferente daquela utilizada em residências. Um dos motivos apontado é o fato dos usuários não pagarem, de forma direta, pela água consumida. De acordo com o autor, a percepção clara do consumo de água por parte de uma equipe gestora e também dos consumidores que frequentam o edifício influencia positivamente a adoção de práticas de economia em uma escala que parece ser mais importante do que a simples substituição de dispositivos hidráulicos por economizadores de água.

Dessa forma, é de grande importância a apresentação desse projeto (como funciona o sistema de medição e seus resultados), primeiramente, para todos os funcionários responsáveis pelo gerenciamento de água na universidade, pois eles farão o melhor uso do sistema implantado, uma vez que são os responsáveis pela manutenção da rede de distribuição de água.

É importante também que esse projeto e seus resultados sejam apresentados aos funcionários responsáveis pela limpeza do prédio, que durante suas atividades utilizam de uma grande quantidade de água, bem como aos demais usuários, como professores, pessoal do administrativo e alunos. A frequência do monitoramento e a divulgação desses resultados influencia o desempenho das práticas de conservação da água em meio a comunidade. (KIPERSTOK, 2017).

Quanto a novas intervenções que podem ser aplicadas, como explicado anteriormente, tanto as intervenções que aconteceram na Escola de Minas quanto aquelas que foram propostas, foram pensadas levando em consideração a atual situação da Universidade. Dessa forma, o próximo passo desse trabalho considera colocar em prática essas propostas (campanhas de conscientização de alunos, servidores, e pessoas que frequentam a edificação; instalação de restritores de vazão nos canos; instalação de redutores de vazão em mictórios) pois tratam-se de intervenções de baixa complexidade para serem executadas e também de baixo custo, estando de acordo com o orçamento disponível pela instituição.

Com a possibilidade desse projeto fazer parte do Plano de Recursos Hídricos da UFOP, todas essas intervenções podem ser replicadas e expandidas, tendo seus benefícios compartilhados por toda a universidade.

6. Conclusão

Um sistema de medição automática do consumo de água é o primeiro passo para um sistema inteligente de água. Tais sistemas permitem, além de acompanhar o consumo em tempo real, melhoras operacionais na rede de distribuição, como a identificação rápida de vazamentos, automação das manobras relacionadas ao abastecimento dos reservatórios e distribuição adequada de água por toda a rede.

No interior das edificações, esse sistema permite realizar a medição e verificação das medidas de redução do consumo como a instalação de arejadores em torneiras e anéis redutores de vazão em descarga de sanitários. Já em uma rede de distribuição de água, permitiria realizar a pesquisa de vazamentos de forma mais eficiente e quantificar essas perdas ao longo da rede.

Na Escola de Minas, prédio foco do nosso estudo, foi possível verificar através do sistema automático implantado, que os arejadores instalados na torneira possuem grande potencial para economizar água nas instalações hidrossanitárias. Essa intervenção resultou em uma economia de 202 m³/mês de água por mês. O consumo médio de água foi reduzido em 45,6% nos dias úteis (de segunda a sexta-feira) e 68,1% nos finais de semana e feriados.

Além disso, outras duas medidas foram testadas: instalação de um anel redutor de vazão em uma descarga de um vaso sanitário e um redutor de vazão em um mictório. Essas medidas se mostraram bastante promissoras e trariam uma economia ainda maior que a atingida com a instalação dos arejadores.

Ao analisar o sistema de captação e distribuição de água do campus, foi possível calcular a energia consumida pela UFOP para distribuição da água, sendo esse valor de R\$ 0,80/m³ ao chegar ao campus, acrescido de R\$ 0,48/m³ para a distribuição realizada na Escola de Minas. Isso implica que: a cada m³ de água economizada nas intervenções realizadas nesse prédio, são economizados R\$ 1,28 nas despesas com energia da instituição.

Com base nesse valor, verificou-se que a redução mensal na conta de energia do edifício foi de R\$ 258,60 por mês. Esse valor, juntamente com os custos relacionados a instalação dos arejadores (R\$ 3.596,00), nos permite realizar a análise de viabilidade econômica do projeto. O investimento realizado pela instituição nesse projeto sugere um *payback* de 14 meses. Isso comprova que o projeto é viável, uma vez que a vida útil dos equipamentos utilizados é longa, sendo o tempo de retorno muito menor que uma eventual necessidade de troca dos mesmos.

Esse sistema e as intervenções realizadas são fáceis de serem replicados. A proposta é que esse sistema piloto de medição inteligente seja escalado para rastrear todo o consumo de água no campus futuramente, uma vez que a maioria dos prédios possuem sistemas hidrossanitários similares. Cada edifício, bem como alguns pontos da rede de água teriam seus medidores de vazão conectados à Ethernet do campus, tornando possível monitorar e identificar vazamentos com maior rapidez.

Esse projeto também poderia fazer parte do Plano de Recursos Hídricos idealizado pela prefeitura do Campus. A recomendação é que se otimize a rede de distribuição de água tanto dos prédios quanto do campus no geral, antes da abertura de novos poços, uma vez que esse procedimento tem um elevado custo e demanda tempo para ser realizado. As

intervenções utilizadas na Escola de Minas se destacam nessa proposta pois são implementadas de maneira rápida e simples, além de possuir um baixo custo e se mostrarem muito eficientes na redução do consumo de água.

Ainda existem outras medidas de conservação de água que poderiam ser implementadas, no prédio da Escola de Minas como a instalação de válvulas redutoras de pressão nos banheiros, restritores de vazão e campanhas de conscientização. Essas medidas são promissoras e podem reduzir ainda mais o consumo de água do edifício. Graças ao sistema de medição inteligente, a eficiência dessas medidas de conservação de água também seria rastreada e serviria como um teste piloto para os outros edifícios do Campus.

7. Referências

ABENDI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. 2004. PR-051 - **Estanqueidade - Detecção de Vazamentos Não Visíveis de Líquidos sob Pressão em Tubulações Enterradas Procedimento**. São Paulo, SP: ABENDI.

ABNT. **Norma ABNT da NBR 13.230 de novembro de 2008**. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=28397>>. Acesso em: 27 de abril de 2020.

AL-FUQAHA, Ala et al. **Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications**. IEEE communications surveys & tutorials, v. 17, n. 4, p. 2347-2376, 2015.

ARAÚJO, Antônio José Cruz de et al. **Avaliação de alternativas tecnológicas de uso racional da água para campus universitário**. 2019.

AWWA - American Water Works Association et al. **Water Audits and Loss Control Programs: M36**. American Water Works Association, 2008.

AWWA - American Water Works Association. **M36 Water Audits and Loss control Programs**. Fourth edition, 442 p. 2016

BADGER METER, INC. **Managed AMI Solution: Beacon® AMA**. Disponível em: <<https://www.badgermeter.com/>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2020.

BERTSIMAS, D. PAWLOWSKI, C. ZHUO, Y. D. (2017). **From predictive methods to missing data imputation: An optimization approach**. The Journal of Machine Learning Research, v. 18, n. 1 (2017), pp. 7133-7171.

BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; CHEUNG, Peter Batista. **Perdas de água: tecnologias de controle**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Brasília: SNS/MDR, 2019. 180 p.: il.

CAINT - UFOP. **Mapa Interativo da UFOP**. Disponível em: <<https://www.caint.ufop.br/mapa-interativo-da-ufop>>. Acesso em: 28 de Outubro de 2020.

CARVALHO, Cleide. **Estresse hídrico**. 2019. Disponível em:<
<https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/estresse-hadrico.2019-03-15.4712171415>>.
 Acesso em: 06 de abril de 2019.

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Belo Horizonte). **Programa
 Caça-Gotas**. 2015. Disponível em:<
<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/abastecimento-de-agua/programa-caca-gotas>>. Acesso em: 15 de novembro de 2019.

COPASA. **Transição de governo – relatórios setoriais**. Novembro, 2018.

C&C. **Economize água com a válvula de descarga**. C&C - Casa e Construção. Disponível em: <<https://www.cec.com.br/blog/economize-agua-com-a-valvula-de-descarga?postId=8>>. Acesso em: 28 de outubro de 2020.

DEPEXE, Marcelo D. **XI-109-Estudo de caso para avaliação de viabilidade de uso de hidrômetro ultrassônico para melhoria da micromedição**. 2017

DICKEY, Thomas. **Smart Water Solutions for Smart Cities**. In: McClellan S., Jimenez J., Koutitas G. (eds) *Smart Cities: Applications, Technologies, Standards, and Driving Factors*. Springer, Cham, 2018.

ECHOLOGICS AND MUELLER CO. **EchoShore®-DX and EchoShore®-TX**. Disponível em:<<https://www.echologics.com/>> Acesso em janeiro de 2020.

EPA - U.S. Environmental Protection Agency. **Control and Mitigation of Drinking Water Losses in Distribution systems**. EPA 816-R-10-019, Office of Water. November 2010.

EVO – Efficiency Valuation Organization. 2012. **Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance. Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água**. Volume 1, EVO 10000 – 1:2012 (Br). EVO, Washington D.C. USA. Disponível em:<http://www.abesco.com.br/wp-content/uploads/2015/07/PIMVP_2012-PTBR.pdf> Acesso em novembro de 2020.

EVO – Efficiency Valuation Organization. 2014. **International Performance Measure and Verification Protocol (IPMVP) Core Concepts**. EVO, Washington D.C. USA.

FARAH, E.; ABDALLAH, A.; SHAHROUR, I. **Sunrise: large scale demonstrator of the smart water system**. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, v. 12, n. 1, p. 112-121, 2017.

FILHO, Tardelli, J. **Abastecimento de Água**. Escola Politecnica, Universidade de São Paulo, Brazil, 2005.

GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH. **Guidelines for water loss reduction: a focus on pressure management**. Eschborn, Alemanha, 2010.

GONÇALVES, E.; ITONAGA, L.C. 2007. **Controle de Perdas em Sistemas de Água. Caderno do Profissional em Capacitação da Oficina do Núcleo Regional Centro-Oeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental**. Brasília: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília.

GSINIMA BRASIL. **A cidade histórica de Ouro Preto será operada pela GS Inima Brasil**. 2019. Disponível em: < <http://www.gsinimabrasil.com.br/pt-br/noticias/noticias/cidade-historica-de-ouro-preto-sera-operada-pela-gs-inima-brasil/>>. Acesso em: 27 de abril de 2020.

HASTENREITER, Tainá Alves. **Estudo de viabilidade técnica e econômica de implantação de um sistema de reuso de água cinza para fim não potável em edificação empresarial**. Vitória, 2013.

HISTÓRIA. Ufop.br. Disponível em: <<https://centrodeconvencoes.ufop.br/hist%C3%B3ria>>. Acesso em: 4 de Agosto de 2021.

HYDRO. **Redução de perda de água**. 2019. Disponível em: <<http://www.arandanet.com.br/assets/revistas/hydro/2019/outubro/index.php#page=12>>. Acesso em janeiro de 2020.

i2O Water Ltd. **OneT Datasheet**. Southampton, UK. <https://en.i2owater.com/solutions/onet/>. Acessado em 21/04/2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 27 de abril de 2020.

IAM – The Institute of Asset Management. **Asset Information, Strategy, Standards and Data Management**. Version 1.1, October 2015

KIPERSTOK, Asher; KIPERSTOK, Alice Costa. **Frontiers in Civil Engineering**, 2017, Vol. 2, 153-201.

KUBLER, Helene. **Elaboração de Proposta do Plano de Ações para Instituir uma Política de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Brasil**. 2016. Disponível em:<http://interaguas.ana.gov.br/Lists/Licitacoes_Docs/Attachments/221/Produto%20Experi%C3%Aancias%20de%20Re%C3%BAso.pdf>. Acesso em: 06 de abril de 2019.

LANE, Alexander. NORTON, Michael. RYAN, Sandra. **Water resources: a new water architecture**. Challenge in water management series. John Wiley & Sons, Oxford, 2017.

LEMONS, André. **A comunicação das coisas. Internet das coisas e teoria ator-rede**. SIMSOCIAL: CYBER-ARTE-CULTURA, v. 2, 2012.

LEPIKSON, Herman Augusto et al. **Tecnologia de low power wide area network (lpwan) para monitoramento de frotas: uma revisão de literatura**. **Tecnologia de low power wide area network (lpwan) para monitoramento de frotas: uma revisão de literatura**, p. 1-388–416. 2018.

MARINHO, Juliana. **Sistema de monitoramento inteligente vai otimizar o abastecimento de água no Campus Macaé**. Comunicação Social do Campus de Macaé. Macaé, 2017.

MARINHO, Maerbal Bittencourt; FREIRE, Maria Thaís Menezes; KIPERSTOK, Asher. **O Programa AGUAPURA de racionalização do consumo de água da Universidade Federal da Bahia**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 24, n. 3, p. 481-492, 2019.

MAY, J. **Leakage, Pressure and Control**. BICS International Conference on Leakage Control Investigation in Underground: Assets London, 1994.

MILLER, Jeff M.; LEINMILLER, Mark. **Why Smart Water Networks Boost Efficiency**. Schneider Electric, 2014

NGUYEN, Khoi A. STEWART, Rodney A. ZHANG, Hong. SIRIWARDENE, Oz Sahin, Nilmini. **Re-engineering traditional urban water management practices with smart metering and informatics**, **Environmental Modelling & Software**, v. 101, 2018, pp. 256-267.

OLIVEIRA, Leonan et al. **Arquitetura baseada em Computação em Névoa para Sistemas de Gerenciamento Inteligente de Água**. In: Anais do II Workshop de Computação Urbana. SBC, 2018.

OWEN, David A. Lloyd. **Smart Water Technologies and Techniques: Data Capture and Analysis for Sustainable Water Management**. Challenge in water management series. John Wiley & Sons, Oxford, 2018.

PEREIRA, Patrícia. **Centro de Artes e Convenções da UFOP divulga os novos contatos | Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP**. Ufop.br. Disponível em: <<https://ufop.br/noticias/administracao/centro-de-artes-e-convencoes-da-ufop-divulga-os-novos-contatos>>. Acesso em: 4 de Agosto de 2021.

PMSB OURO PRETO. Prefeitura Municipal de Ouro Preto. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Ouro Preto, Vol. I e II**. Ouro Preto, 2013

PURA. **Programa de Uso Racional da água da Universidade de São Paulo**. São Paulo, 2020.

SABESP. **Relatório de Sustentabilidade**. 2019. Disponível em:< http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/relatorios_sustentabilidade/Relatorio_Sustentabilidade_2019_port.pdf>. Acesso em: 15 de abril de 2020.

SÁNCHEZ et al. 2020. **Water Loss Management Through Smart Water Systems**. In: **Smart Village Technology, Modeling and Optimization in Science and Technologies** 17 (S. Patnaik et al., eds.). Springer Nature Switzerland AG 2020, pp. 233–266.

SANCHEZ, A. S; OLIVEIRA-Esquerre, K. P. **Internet of things for a smart campus: on-line monitoring of water consumption in University Buildings**. International Journal of Engineering Research & Technology, v. 7, p. 341-345, 2018.

SANTOS, Fernanda Flores Silva dos et al. **O desenvolvimento do saneamento básico no Brasil e as consequências para a saúde pública**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 4, n. 1, 2018.

SANTOS, Matheus. **A realidade da UFOP diante dos cortes no orçamento | Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP**. Ufop.br. Disponível em:

<<https://ufop.br/noticias/em-discussao/realidade-da-ufop-diante-dos-cortes-no-orcamento>>. Acesso em: 4 de agosto de 2021.

SILVA, Débora Fabiana da. **Caracterização do Sistema de Abastecimento e Distribuição de Água do Campus Morro do Cruzeiro, da Universidade Federal de Ouro Preto**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

SILVA, Gisele Sanches da. **Programas permanentes de uso racional de água em campi universitários: O programa de Uso Racional da água da Universidade de São Paulo**. São Paulo, 2004.

THORNTON, J., STURM, R, KUNKEL, George. **Water Loss Control Manual, Second Edition**. McGraw Hill, New York, June 2008.

TRATA BRASIL; ASSOCIADOS, G. O. **Perdas de água 2018 (snis 2016): desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico**. São Paulo, mai, 2019.

TSUTIYA, M.T. 2008. **Abastecimento de Água: Gerenciamento de Perdas de Água e Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento - Guia do Profissional em Treinamento: Nível 2**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). Salvador: Recesa, 139p.

UFMG. **Universidade adota medidas para reduzir consumo de água**. 2015. Disponível em:< <https://www.ufmg.br/online/arquivos/037014.shtml>>. Acesso em: 20 abril de 2020.

UNDESA - United Nations Department of Economic and Social Affairs (2018). **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision**. UNDESA, New York.

UNICAMP. **Projetos de eficiência energética e de redução de consumo de água**. Disponível em:< <https://www.prefeitura.unicamp.br/servicos/divisao-de-sistemas/dsis-projetos-reducao-agua-energia>>. Acesso em: 17 de abril de 2020.

VASCONCELOS, Ronald Fernando Albuquerque. **POLÍTICA DE SANEAMENTO: desafios no contexto de desconstrução das políticas públicas do Estado**. Revista de Políticas Públicas, v. 22, n. 2, p. 1139-1155, 2019.

WALKER, Lindsay. **How does asset management software REALLY help the water industry?**. Water Finance and Management. 2017. Disponível em:<<https://waterfm.com>>. Acesso em: 30 de outubro de 2018.

WEG Motors. **WEG Motor Scan – Ready for Industry 4.0**. Catalogo. Disponível em:<<https://www.weg.net/wegmotorscan/en/downloads>>. Acesso em: 21 de abril de 2020.

WSO - Water Systems Optimization, Inc. **Secondary research for water leak detection program and water system loss control study**. San Francisco, CA, December 2009.