

JOHANN KROL RICARDO SOUZA FERREIRA

Controle de perdas reais em Sistemas de Distribuição de Água Potável: Análise da
Redução de Consumo

Johann Krol Ricardo Souza Ferreira

**Controle de perdas reais em Sistemas de Distribuição de Água Potável: Análise da
Redução de Consumo**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: MSc. Fernando Henrique Mayworm de Araujo

Coorientador: Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna

Guaratinguetá - SP
2023

JOHANN KROL RICARDO SOUZA FERREIRA

F383c	Ferreira, Johann Krol Ricardo Souza Controle de perdas reais em sistemas de distribuição de água potável: análise da redução de consumo / Johann Krol Ricardo Souza Ferreira. – Guaratinguetá, 2023. 77 f : il. Bibliografia: f. 70-71 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023. Orientadora: : MSc. Fernando Henrique Mayworm de Araujo Coorientador: Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna 1. Abastecimento de água. 2. Água potável. 3. Água - Consumo. I. Título. CDU 628.1
-------	---

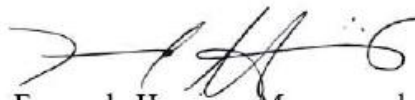
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO ENGENHARIA MECÂNICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM NOME DO CURSO



Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof.(^a) Me. Fernando Henrique Mayworm de Araujo
Orientador(a)/UNESP-FEG



Prof. Dra. Thais Santos Castro
UNESP-FEG



Prof. Dr. Thiago Averaldo Bimestre
UNESP-FEG

Janeiro 2023

DADOS CURRICULARES

JOHANN KROL RICARDO SOUZA FERREIRA

NASCIMENTO	20.04.1987 – Cruzeiro / SP
FILIAÇÃO	João Batista Ferreira Francisca Izabel de Souza Ferreira
2013/2023	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus Guaratinguetá

Dedico este trabalho de modo especial, à
minha família.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos;

ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Henrique Mayworm de Araújo que jamais deixou de me incentivar.

aos meus pais Francisca e João Batista, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos;

à minha esposa Rosiane Aparecida do Araújo, que foi paciente nos momentos de ausência e dedicação acadêmica.

aos funcionários da estação de tratamento e da empresa HS Group que me auxiliaram na coleta dos dados.

aos meus colegas de trabalho que sempre me incentivaram na concretização dos meus objetivos.

às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar;

“Genialidade é 1% inspiração e 99 %
transpiração”;

Thomas Edison

RESUMO

A pressão sobre os recursos naturais tem aumentado a cada ano e a sociedade tem como dever acelerar o processo por sustentabilidade e uma sociedade mais justa, ao mencionar justiça e sustentabilidade o recurso natural água potável se torna peça principal para o desenvolvimento de uma sociedade mais igualitária. O estudo possui como tema o controle das perdas reais em sistemas de distribuição de água potável e como objetivo principal analisar a redução do consumo da mesma. Entre as etapas do estudo realizado em uma das plantas de uma empresa privada global, o levantamento dos componentes do sistema de distribuição e abastecimento foi realizado através de um levantamento em campo, consulta em projetos antigos e entrevistas de funcionários experientes na empresa, em seguida, iniciou um trabalho de criticidade dos componentes, reservatórios e ramais de distribuição, do sistema para direcionar investimentos e priorizar manutenção, com foco em pontos com alto potencial de perdas reais, após o levantamento dos equipamentos foi possível um monitoramento do consumo e o acompanhamento do perfil dos ramais de distribuição diariamente e levantou se as principais oportunidades de melhorias no sistema de água potável: substituição de tubulações enterradas, substituição do modelo de acionamento das torneiras dos banheiros. O sistema de distribuição que foi estudado possui 2 poços artesianos, 67 reservatórios, 17 bombas e 21 sub ramais de distribuição, desses 18% dos reservatórios possuem grau de criticidade elevado e entre os ramais 14% estão com grau elevado quando analisado o parâmetro de segurança na matriz de criticidade. Em relação ao consumo de água potável foi verificado após a implementação das oportunidades levantadas, uma redução de consumo em torno de 25% quando comparado o volume de água consumido e as horas trabalhadas, esse indicador foi estabelecido devido a característica do regime de trabalho e a estrutura do sistema de utilidades da planta que possui o sistema de distribuição de água industrial para abastecimento de processos produtivos e o sistema de distribuição de água potável que é exclusivamente utilizado para consumo humano não participando do processo produtivo em nenhuma etapa.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de distribuição. Água potável. Consumo. Criticidade.

ABSTRACT

The pressure on natural resources has increased every year and society has a duty to accelerate the process for sustainability and a fairer society, when mentioning justice and sustainability the natural resource drinking water becomes a key element for the development of a more egalitarian society. The study has as its theme the control of real losses in drinking water distribution systems and as main objective to analyze the reduction of drinking water consumption. Among the stages of the study carried out in one of the plants of a global private company, the survey of the components of the distribution and supply system was carried out through a field survey, consultation on old projects and interviews with experienced employees in the company, then started a work of criticality of the components, reservoirs and distribution branches of the system to direct investments and prioritize maintenance, focusing on points with high potential for real losses, after surveying the equipment it was possible to monitor consumption and follow up the profile consumption of the distribution branches on a daily basis and identified the main opportunities for improvements in the drinking water system. The distribution system that was studied has 2 artesian wells, 67 reservoirs, 17 pumps and 21 distribution sub branches, of which 18% of the reservoirs have a high degree of criticality and among the branches 14% are with a high degree when analyzing the safety parameter in the criticality matrix. Regarding the consumption of drinking water, after the implementation of the opportunities raised, a consumption reduction of around 25% was verified when comparing the volume of water consumed and the hours worked, this indicator was established due to the characteristic of the work regime and the structure of the plant's utilities system that has the industrial water distribution system to supply production processes and the potable water distribution system that is exclusively used for human consumption, not participating in the production process at any stage.

KEYWORDS: Distribution system. Potable water. Consumption. Criticality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática bidimensional da ligação de moléculas de água	20
Figura 2 -Representação Ciclo hidrológico	22
Figura 3 - Perfil de velocidade em desenvolvimento.	26
Figura 4 - Experiência de Reynolds.	27
Figura 5 - Fotografia do corante no interior do tubo ao variar vazão.....	27
Figura 6 - Demonstrativos do modelo de escoamento.	29
Figura 7 - Distribuição de energia durante o escoamento entre dois pontos.....	31
Figura 8 - Fatores de perdas de carga.	34
Figura 9 - Representação de uma instalação e das linhas de carga e piezométricas.	35
Figura 10 - Esquema de uma rede ramificada.	36
Figura 11 - Esquema de uma rede malhada.....	37
Figura 12 - Altura representativas.	39
Figura 13 - Representação dos tipos de vazamentos.	44
Figura 14 - Itens para controle de Perdas.	45
Figura 15 - Representação do fluxo da ETAP 2.....	47
Figura 16 - Hidrômetros.	50
Figura 17 - Layout da empresa.	54
Figura 18 - Vazamento no sub ramal de distribuição RDAP1.1.1.	60
Figura 19 - Indicação das principais atividades de melhoria.....	63
Figura 20 - Alteração da tubulação de água potável Ramal 1.	63
Figura 21 - Substituição de torneiras.....	64
Figura 22 - Vazamento visível.	64
Figura 23 - Substituição de trecho enterrado de tubulação.	65
Figura 24 - Montagem de tubulação aparente.	65
Figura 25 - Tubulação substituída.	66
Figura 26 - Hidrômetros Substituído.....	66

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 - Variação da densidade absoluta da água com a temperatura	23
Gráfico 2 - Abastecimento do sistema de água potável	59
Gráfico 3 - Demanda de água potável	61
Gráfico 4 - Indicador de água potável	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Matriz de criticidade para os reservatórios.	48
Quadro 2 - Matriz de criticidade de ramais de distribuição.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição porcentual da massa de água no planeta	21
Tabela 2 - Principais componentes do sistema de distribuição de água potável.	53
Tabela 3 - Características dos poços tubulares profundo.	54
Tabela 4 - Levantamento dos reservatórios.	55
Tabela 5 - Levantamento das bombas.	56
Tabela 6 - Ramais de distribuição de água potável.	57
Tabela 7 - Análise de criticidade dos reservatórios.	58
Tabela 8 - Análise de criticidade ramais de distribuição de água potável.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADM	Administrativo
ETAP	Estação de tratamento de água potável
ETE	Estação de tratamento de esgoto
GM	Gabinete do ministro
IAP	Indicador de água potável
MS	Ministério da saúde
ODS	Objetivos de desenvolvimento sustentável
Procel	Programa Nacional de conservação de energia elétrica
PVC	Policloreto de vinila
RAAP	Ramal de abastecimento de água potável
RDAP	Ramal de distribuição de água potável
SNIS	Sistema Nacional de informação sobre saneamento

LISTA DE SÍMBOLOS

pH	Potencial hidrogeniônica
Re	Número de Reynolds
V	Velocidade do fluido
L	Comprimento
ν_{cn}	Viscosidade cinemática
D	Diâmetro
ρ	Massa específica
μ	Viscosidade dinâmica
Re	Número de Reynolds
Z	Energia de posição.
P	Pressão
γ	Peso Específico
g	Aceleração da gravidade
H	Altura de elevação
f	Fator de resistência ou coeficiente de atrito
ε	Rugosidade da superfície sólida
h_f	Perda de carga
K	Coeficiente de perda de carga localizada
H_u	Altura útil
H_m	Altura Motriz de elevação
η	Rendimento total
P_u	Potência útil
P_m	Potência motriz
Q	Vazão
h_s	Altura estática de sucção
h_r	Altura estática de recalque
h_e	Altura estática de elevação
H_s	Altura total de sucção ou manométrica de sucção
H_b	Pressão atmosférica local
H_r	Altura total de recalque ou altura manométrica de recalque
V_t	Quantidade de litros consumido

H_t	Quantidade de horas trabalhadas
m/s	Metros por segundo
m	Metros
m^2/s	Metros quadrados por segundo
D	Diâmetro
kg/ (m.s)	Quilograma por metros vezes segundo
kg/m ³	Quilograma por metros cúbicos
°C	Graus Celsius
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo
kgf/m ³	Quilograma-força/metros cúbicos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	ÁGUA.....	20
2.1.1	Distribuição de água no mundo.....	20
2.1.2	Características físicas da água.....	22
2.1.3	Características químicas da água.....	24
2.1.4	Água potável.....	24
2.1.4.1	Parâmetros de qualidade da água.....	25
2.2	ESCOAMENTO INTERNO DE FLUIDOS INCOMPRESSÍVEIS	25
2.2.1	Regimes de escoamentos.....	26
2.2.2	Equação de Bernoulli	29
2.2.3	Perda de carga.....	30
2.2.3.1	Perdas de carga ao longo da canalização	32
2.2.3.2	Perdas de carga localizadas	33
2.2.3.3	Fatores responsáveis pelas perdas de cargas	33
2.2.4	Linha de carga e linha piezométrica	34
2.3	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	35
2.3.1	Tipos de rede	35
2.3.2	Sistemas de bombeamento	37
2.3.2.1	Bombas	38
2.3.2.2	Tipo de bombas.....	38
2.3.2.3	Alturas de Elevação	39
2.3.2.3.1	<i>Altura útil (Hu)</i>	39
2.3.2.3.2	<i>Altura manométrica (H)</i>	40
2.3.2.3.3	<i>Altura motriz de elevação (Hm)</i>	40
2.3.2.4	Rendimento total η	40
2.3.2.5	Potência.....	40
2.3.2.6	Alturas estáticas ou topográficas	41
2.3.2.6.1	<i>Altura estática de sucção h_s</i>	41
2.3.2.6.2	<i>Altura estática de recalque h_r</i>	41
2.3.2.6.3	<i>Altura estática de elevação h_e</i>	41
2.3.2.7	Alturas totais, dinâmicas ou energéticas.....	41

2.3.2.7.1	<i>Altura total de sucção ou manométrica de sucção (Hs).....</i>	<i>41</i>
2.3.2.7.2	<i>Altura total de recalque ou altura manométrica de recalque (Hr)</i>	<i>42</i>
2.3.2.7.3	<i>Altura manométrica de elevação ou altura manométrica.....</i>	<i>42</i>
2.4	PERDAS DE ÁGUAS	43
2.4.1	Perdas Reais	43
2.4.2	Medidas de controle de perdas reais.....	44
3.	METODOLOGIA.....	46
3.1	ESTUDO DE CASO	46
3.2	LEVANTAMENTO DO SISTEMA DE ÁGUA POTÁVEL	47
3.3	CRITICIDADE DOS EQUIPAMENTOS.....	47
3.3.1	Análise de criticidade para Reservatórios.....	48
3.3.2	Análise de criticidade de ramais distribuição	48
3.4	GESTÃO DAS PERDAS REAIS DO SISTEMA DE ÁGUA POTÁVEL.....	49
3.4.1	Descoberta	49
3.4.2	Aumento dos pontos medição	50
3.4.3	Tratamento das perdas reais	51
3.4.3.1	Perdas reais ações corretivas	51
3.4.3.2	Perdas reais e novas tubulações.....	52
3.4.3.3	Validação da redução do consumo de água.....	52
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1	LEVANTAMENTO DO SISTEMAS DE ÁGUA POTÁVEL	53
4.1.1	Fornecimento de água para o sistema.....	53
4.2	EQUIPAMENTOS CRÍTICOS	58
4.3	CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL	59
4.4	PERDAS REAIS	62
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, ocorre um forte movimento para o desenvolvimento de políticas voltadas a construção de uma sociedade mais justa e sustentável, buscando uma maior equidade entre as nações, dentre os vários temas em discussão o acesso a água tomou grande relevância, pois segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2021 (2021), estima-se que 4 bilhões de pessoas vivem em áreas de grande escassez físicas de água ao menos um mês no ano.

Em setembro de 2015, em Nova York, durante a Assembleia Geral das Nações Unidas, com a presença de 193 membros, definiram 17 objetivos de desenvolvimento sustentáveis (ODS) como um plano global a ser atingido em 2030, são objetivos ousados que buscam promover o Estado de direito, os direitos humanos e as responsabilidades das instituições políticas, o sexto objetivo de desenvolvimento sustentável trata-se em garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento básico a todas as pessoas.

Conforme o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2021 (2021) nos últimos cem anos a demanda por água doce aumentou em seis vezes e desde de 1980 o crescimento da demanda se aproxima de 1% ao ano, os principais fatores desse crescimento são: o desenvolvimento econômico, as mudanças nos padrões de consumo e o crescimento populacional.

Em função do aumento da demanda, as águas captadas das encostas não atendem mais a necessidade de abastecimento populacional que até então eram realizadas através da ação da gravidade, atualmente o uso de bombas se tornou indispensável para atender a demanda, essas máquinas, na maioria das vezes, são acionadas por motores elétricos ocasionando o consumo de energia elétrica.

A busca por sistema de distribuição e bombeamento mais eficientes passam por um controle das perdas, pois sistemas com elevados pontos de desperdício diminuem a pressão da linha (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS, 2022).

Segundo o manual da ELETROBRAS/ Procel (2005), a cada um litro de água economizado do consumo final, gera uma economia de 1,25 litros na captação, bombeamento e tratamento para sistema de distribuição com 20% de perdas, reduzindo também em um litro de tratamento de esgoto.

Um sistema de distribuição de água potável eficiente energeticamente garante um abastecimento contínuo a todos os consumidores com o menor consumo de energia e ausente de perdas por vazamentos.

Conforme o exposto e ao verificar a dificuldade no acompanhamento do consumo de água potável com medições divergentes, aliadas as instalações antigas do sistema de água potável com muitos pontos enterradas.

Portanto, indaga-se: a implementação de uma análise do sistema de água potável com ênfase na redução de consumo eliminando possíveis perdas reais possui impactos relevantes?

O objetivo desse trabalho é uma análise do sistema de água potável para redução do consumo de água através da eliminação das perdas reais (vazamentos).

Para isso, foram definidos os seguintes objetivos específicos: levantamento dos sistemas de água potável da empresa identificando seus principais equipamentos reservatórios, bombas e ramais de distribuição, classificando os equipamentos identificados através do grau de criticidade, analisando os volumes consumidos de água potável pelos ramais e propor melhorias para eliminação de perdas reais.

A hipótese inicial é de que o sistema tem vários pontos de vazamento principalmente em ramais de distribuição enterrados, pois devido as instalações possuírem um tempo de uso elevado e não possuírem uma crítica sobre a demanda de água nos principais ramais de distribuição.

O trabalho é dividido em cinco capítulos, o primeiro uma síntese sobre os temas que serão abordados e desenvolvidos no decorrer do trabalho.

O segundo capítulo, retrata o desenvolvimento teórico, onde está descrito a sustentação dos conceitos teóricos obtidos e pesquisados para elaboração da pesquisa, fundamentando os temas abordados e desenvolvidos no decorrer do trabalho.

O terceiro capítulo é a metodologia, descreve a forma que será conduzido o estudo de caso definindo as etapas e sequências na análise do sistema de distribuição de água potável.

O quarto capítulo é o resultado e discussão, onde apresenta os resultados e alterações obtidos com a pesquisa e as discussões a respeito dos resultados.

O quinto capítulo são as considerações finais, onde descreve as principais informações levantadas ao longo do trabalho e oportunidades de futuros trabalhos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

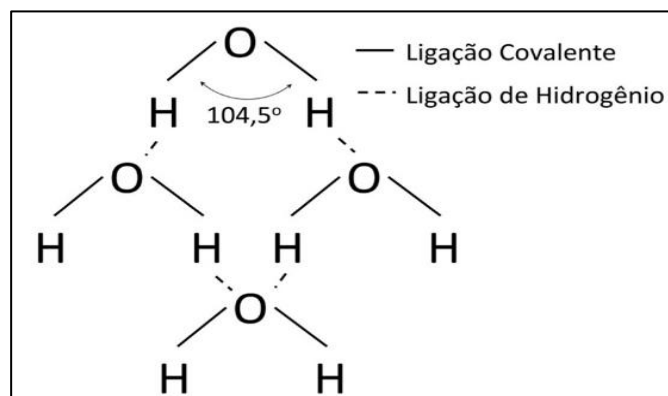
2.1 ÁGUA

A água é uma substância encontrada em várias partes do universo, no entanto, somente no planeta Terra foi comprovada a existência de água na fase líquida. A vida no planeta Terra originou-se no ambiente aquático, a água possui várias atribuições para a manutenção da vida no Planeta desde auxiliar os transportes de nutrientes às raízes das plantas até participar da metabolização das toxinas no corpo humano e regulação de temperatura (LENZI, FAVERO e LUCHESE, 2011).

É a única substância encontrada em grandes quantidades nos 3 estados da matéria no planeta Terra, a água apresenta-se no estado líquido cobrindo aproximadamente $\frac{3}{4}$ da superfície terrestre, no estado sólido congelada nas calotas polares e nos cumes das montanhas e no estado vapor presente em toda a atmosfera, além de estar presente no interior de todos os organismos vivos.

A constituição química da molécula de água é formada por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio (H_2O), unidas por ligações de hidrogênio. A figura 1 representa as ligações esquemática bidimensional das moléculas de água, essa configuração possibilita propriedades particulares de grande importância para a sobrevivência no Planeta.

Figura 1 – Representação esquemática bidimensional da ligação de moléculas de água



Fonte: Calijuri;Cunha (2019)

2.1.1 Distribuição de água no mundo

A água cobre aproximadamente 70 % da superfície do planeta Terra, sendo encontrado na maior parte no estado líquido. É um recurso natural renovável através do ciclo hidrológico, estima-se um total de 265.400 trilhões de toneladas no planeta, sua disponibilidade e

qualidade são fatores determinantes para o consumo, na tabela 1 mostra-se a distribuição de água no planeta (BRAGA, HESPANHOL, *et al.*, 2005).

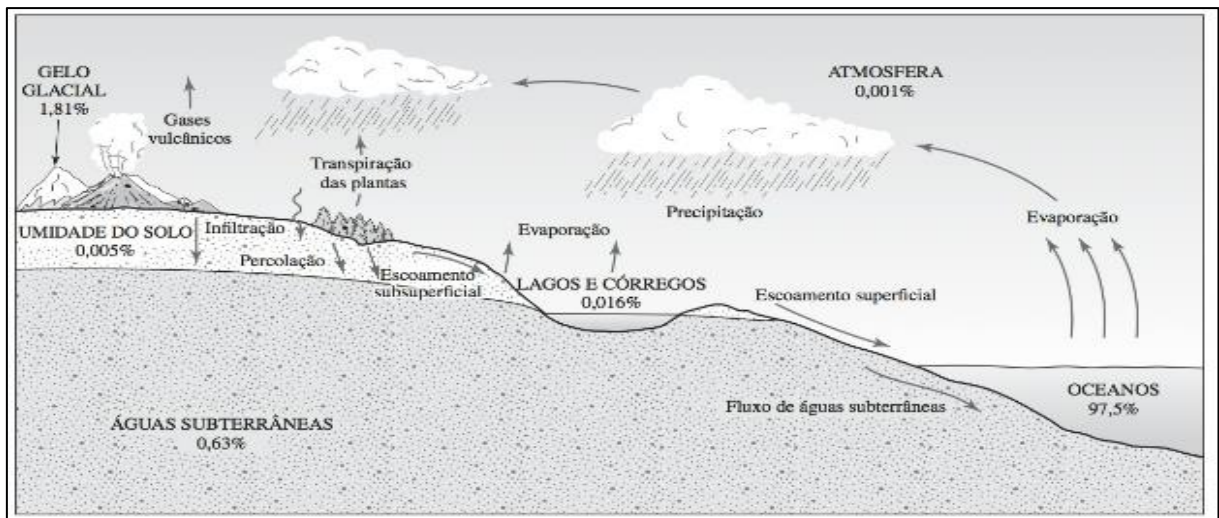
Tabela 1 – Distribuição porcentual da massa de água no planeta

Localização	Área (10 ⁶ Km ²)	Volume (10 ⁶ Km ³)	Porcentagem da água total (%)	Porcentagem da água doce (%)
Oceanos	361,3	1338	96,5	
Água subterrânea	134,8	23,4	1,7	
Doce	10,53	0,76	2,99	
Umidade do solo	0,016	0,0012	0,05	
Calotas Polares	16,2	24,1	1,74	68,9
Geleiras	0,22	0,041	0,003	0,12
Lagos	2,06	0,176	0,013	0,26
Doce	1,24	0,091	0,007	
Salgado	0,82	0,085	0,006	
Pântanos	2,7	0,011	0,0008	0,03
Rios	14,88	0,002	0,0002	0,006
Biomassa	0,001	0,0001	0,003	
Vapor na atmosfera	0,013	0,001	0,04	
Total de água doce	35	2,53	100	
Total	510,0	1.386	100	

Fonte: Braga; Hespanhol; *et al.*(2005)

A figura 2 faz uma representação da movimentação das águas e as suas etapas, considerando a primeira etapa como a passagem da água para atmosfera, isso ocorre de duas formas a evaporação (dos rios, lagos, ...) e a transpiração das plantas, a segunda etapa ocorre o retorno da água para a superfície do planeta, na forma de precipitação sendo a mais comum através da chuva, porém pode ocorrer na forma de neve, gelo, ...Ao precipitar na superfície terrestre as águas se movimentam de três formas distintas uma parte escoar sobre a superfície na direção dos rios, lagos e reservatórios também conhecido como escoamento superficial direto, outra parte escoar por uma região abaixo da superfície, não chegando nos lençóis freáticos, na direção dos rios, lagos e reservatórios que são os escoamentos subsuperficiais e uma terceira parte que infiltra a superfície alimentando as água subterrâneas (DAVIS e MASTEN, 2016).

Figura 2 -Representação Ciclo hidrológico



Fonte: Davis; Mastes (2016)

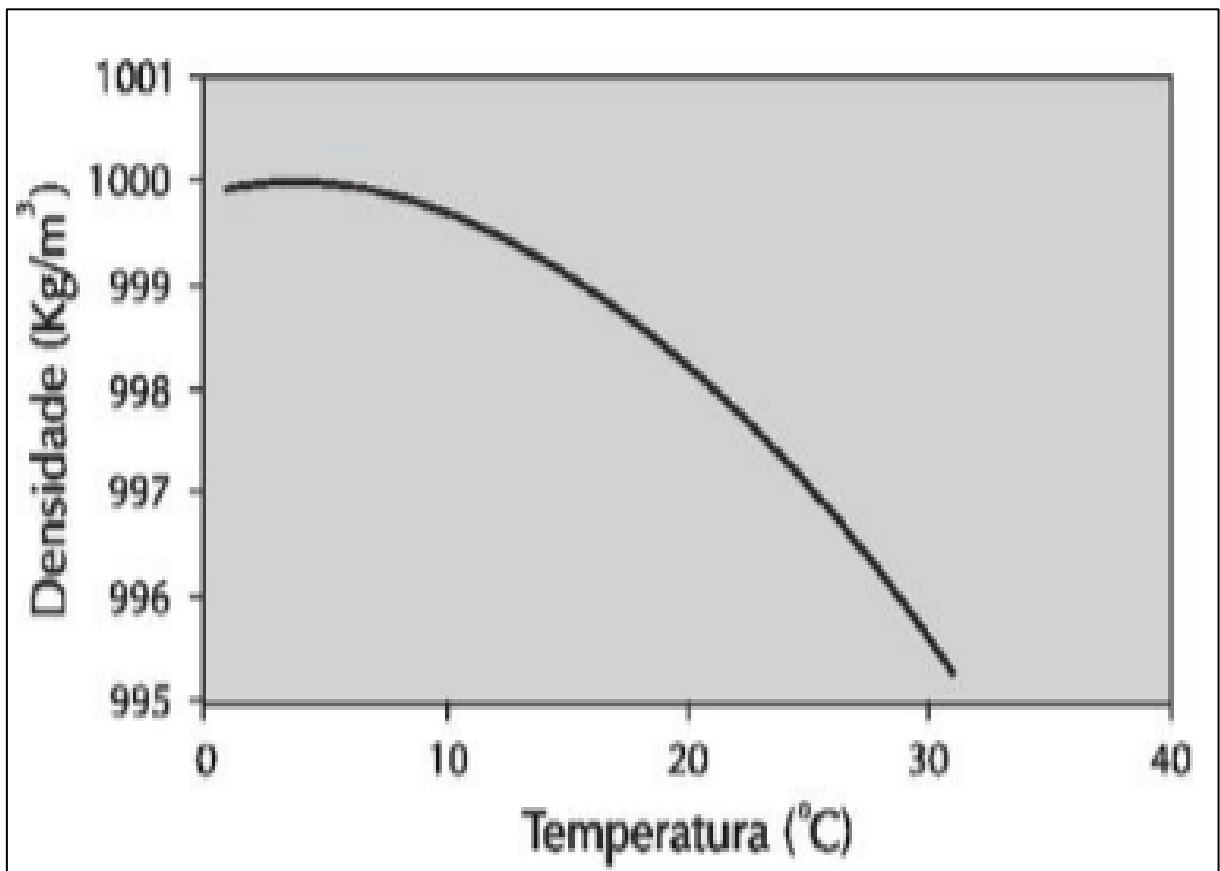
O grande volume de água no planeta não significa disponibilidade para o consumo humano, pois a maior parte dessa água está localizada nos oceanos e mares, onde a água possui uma elevada concentração de sal, por isso, imprópria para o consumo. O processo de dessalinização possui um custo elevado em comparação com os processos normalmente aplicados para o tratamento de água doce, tendo uma limitação tecnológica, outra possibilidade de fornecimento de água doce seria a captação de águas nas geleiras localizadas nos polos, no entanto, devido às distâncias dos centros consumidores torna-se os custos com transportes elevados e inviáveis (BRAGA, HESPANHOL, *et al.*, 2005).

2.1.2 Características físicas da água

Em condições normais de temperatura e pressão a água é uma das poucas substâncias inorgânicas no estado líquido da matéria, que apresenta um limite bem definido entre a superfície líquida e atmosfera, pois possui uma massa específica cerca de oitocentas vezes maior que a do ar.

A densidade absoluta da água é em função da temperatura, concentração de substâncias dissolvidas e pressão, é uma das propriedades mais marcantes, visto principalmente pela variação ocorrida durante as mudanças de temperatura, conforme mostrado no gráfico 1, pois a água possui seu maior valor de massa específica com temperatura entre 0°C e 4°C, dessa forma, a água no estado sólido possui uma densidade absoluta menor do que no estado líquido.

Gráfico 1 - Variação da densidade absoluta da água com a temperatura



Fonte: Braga; Hespanhol; *et al.* (2005)

O calor específico da água possui um valor elevado, com isso, a água pode absorver ou emitir uma grande quantidade de calor a variações relativamente pequenas, essa propriedade possibilita um controle mais uniforme das amplitudes térmicas em regiões onde possui grandes reservatórios de água (BRAGA, HESPANHOL, *et al.*, 2005).

A viscosidade é uma propriedade que é inversamente proporcional à temperatura, assim, com o aumento da temperatura ocorre a diminuição da viscosidade afetando a força de atrito, que é função da viscosidade (BRAGA, HESPANHOL, *et al.*, 2005).

Após a luz incidir na superfície líquida, parte é absorvida pelo meio líquido transformando-se em calor. A absorção varia exponencialmente com a profundidade diminuindo à medida que a distância no interior do líquido aumenta. Duas características são importantes dessa propriedade o comprimento de onda ou frequência, associada a cor, e a intensidade, associada a quantidade de energia transportada pela luz. Existem dois fatores que afetam a absorção da luz ao meio líquido são eles a cor e a turbidez. A cor subdivide-se em cor real, substâncias dissolvidas na água, e cor aparente sendo o reflexo da paisagem ao redor e à cor do fundo do meio aquático. A turbidez é referente a partículas em suspensão no

meio líquido (BRAGA, HESPANHOL, *et al.*, 2005). A turbidez não é uma característica que representa grandes riscos à saúde, no entanto, pode ocorrer junto das partículas em suspensão a presença de microrganismos que alterem a eficiência das substâncias utilizadas na desinfecção (DAVIS e MASTEN, 2016).

A tensão superficial que ocorre na água é resultado da força de atração que atua entre suas moléculas, esse efeito ocorre devido a polarização das moléculas que exercem e sofrem a força de atração ao redor das demais moléculas, no entanto, as moléculas na superfície do meio líquido sofrem os efeitos da força de atração com maior intensidade (BRAGA, HESPANHOL, *et al.*, 2005).

2.1.3 Características químicas da água

A água possui uma característica marcante de ser um excelente solvente, considerada como solvente universal. Possui o poder de dissolver várias substâncias orgânicas e inorgânicas, em diferentes estados da matéria (líquido, gasoso ou sólido) (BRAGA, HESPANHOL, *et al.*, 2005).

O pH é uma propriedade que mede acidez e alcalinidade de uma determinada substância, essa propriedade é importante devido à forte influência que exerce nas reações químicas. O pH da água pura a 25°C é igual a 7 (BRAGA, HESPANHOL, *et al.*, 2005).

2.1.4 Água potável

A água para consumo humano é considerada a mais nobre e importante para sobrevivência do ser humano, pois a qualidade de vida do homem na Terra depende da disponibilidade e qualidade da água, sendo essencial para o funcionamento adequado do organismo, no preparo de alimentos, na higiene pessoal e de utensílios (BRAGA, HESPANHOL, *et al.*, 2005).

A água potável é definida como a substância com ausência de cheiro, sabor, cor e micro-organismos patogênicos, dessa forma, em condições para consumo humano (RADUNS, PEREIRA, *et al.*, 2020). Ocorre a necessidade de se preocupar com o aspecto visual da água potável, pois o consumo de água considerando como parâmetro de qualidade apenas essa característica é uma realidade, no entanto, não existe uma relação direta entre o aspecto visual e a qualidade da água podendo ocorrer o consumo de água com melhor aspecto, porém nociva para o consumo humano (BRAGA, HESPANHOL, *et al.*, 2005).

2.1.4.1 Parâmetros de qualidade da água

Segundo Davis e Masten (2016), por mais que a água da chuva seja considerada pura é observado impurezas nas águas provenientes da precipitação, com valores muito inferiores aos valores encontrados após a água começar a escoar na superfície terrestre. A água pura é encontrada na natureza apenas na forma de vapor disperso na atmosfera, ao se condensar e ocorrer a precipitação na forma de chuva, os gases na atmosfera dissolvem na água no estado líquido. Esse processo ocorre devido a característica da água de ser um excelente solvente. As substâncias presentes na atmosfera podem variar conforme a litologia do terreno, da vegetação e outros fatores, influenciando nos parâmetros de qualidade da água (BRAGA, HESPANHOL, *et al.*, 2005).

O Brasil possui a portaria GM/MS nº 888, de maio de 2021, onde estabelece os indicadores físicos, químicos e biológicos aceitáveis para consumo humano, definindo os procedimentos e responsabilidades, em relação ao controle e qualidade da água para consumo humano e o seu padrão de potabilidade.

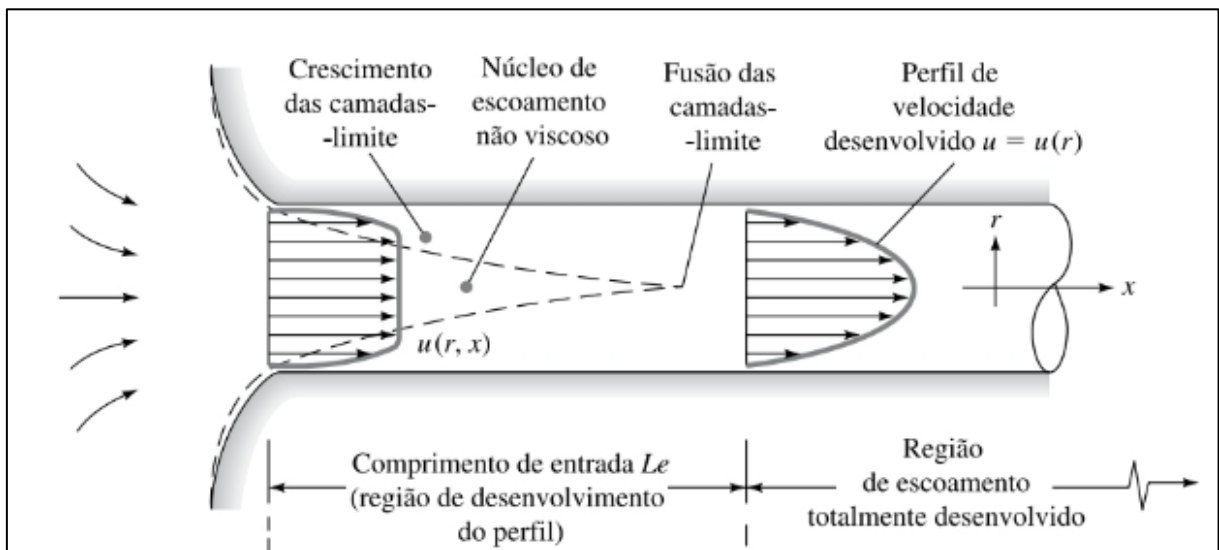
A portaria define como Padrão de potabilidade “conjunto de valores máximo permissíveis das características da qualidade da água destinadas ao consumo humano”. São atribuídos valores máximos para as características físicas, químicas, organolépticas, microbiológicas e radioativas.

É necessário que o padrão de potabilidade seja constantemente revisado, pois os avanços tecnológicos possibilitam a identificação de novos elementos tóxicos que possam entrar em contato com os recursos hídricos para abastecimento humano ou a revisão dos parâmetros de valores máximos permissíveis provenientes de estudos específicos (BRAGA, HESPANHOL, *et al.*, 2005).

2.2 ESCOAMENTO INTERNO DE FLUIDOS INCOMPRESSÍVEIS

O escoamento interno de fluidos incompressíveis é caracterizado pelo escoamento onde o fluido passa por uma região completamente limitada por uma superfície sólida, como principais exemplos tubos, conexões, válvulas (FOX, MCDONALD, *et al.*, 2018). White (2018) complementa, com as limitações superficiais ao escoamento os efeitos viscosos no escoamento irão crescer, encontrar-se e continuar por todo o escoamento, conforme demonstrado na figura 3.

Figura 3 - Perfil de velocidade em desenvolvimento.



Fonte: White (2018)

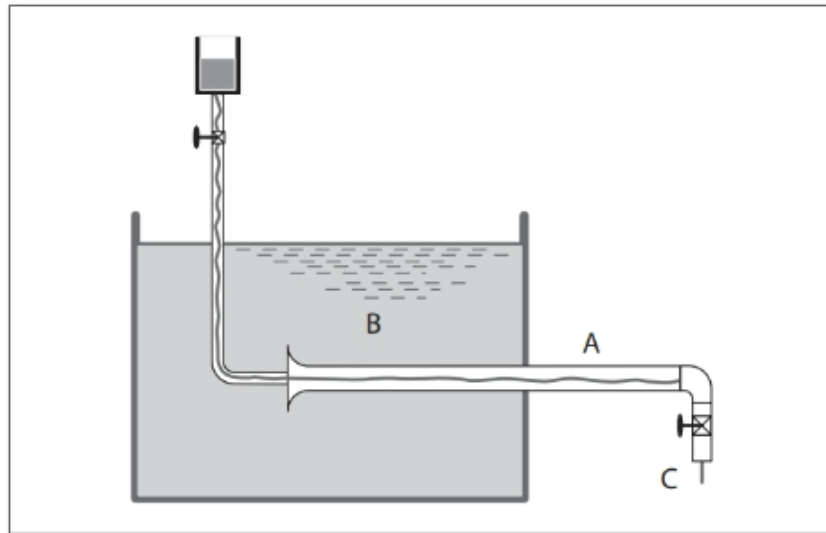
Os escoamentos em relação a pressão atuante no interior da seção transversal do conduto, pode ser dividido entre condutos forçados e condutos livre. Os condutos forçados são os condutos onde apresentam uma pressão interna maior que a pressão atmosférica e os condutos livre são os que apresentam, na condição limite, a pressão na geratriz superior do conduto igual a pressão atmosférica (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

2.2.1 Regimes de escoamentos

O físico irlandês Osborne Reynolds (1842 – 1912) dedicou-se a estudar o escoamento dos líquidos realizando várias experiências e observações sobre o comportamento do escoamento em diversas situações de vazão, diâmetros dos dutos, líquidos,... Uma das experiências, representada na figura 4, consistia em escoar por dentro de um tubo de vidro interligado em um reservatório um corante, esse tubo possui na extremidade dentro do reservatório abertura na forma de sino para evitar possíveis turbulências, na outra extremidade possuía uma válvula com o objetivo de variar a vazão no interior do tubo. Ao abrir gradativamente a válvula no tubo de vidro verificou que o escoamento do corante no interior do tubo possui uma característica bem definida, com trajetória regular, ordenada e constante. Em seguida, aumentou a vazão no interior do tubo e observou, em um determinado momento, o escoamento do corante deixou de seguir uma trajetória regular e iniciou uma turbulência com movimentação desordenada das partículas, ao elevar a vazão novamente a turbulência aumentou a ponto de quase não ser possível verificar o escoamento do corante.

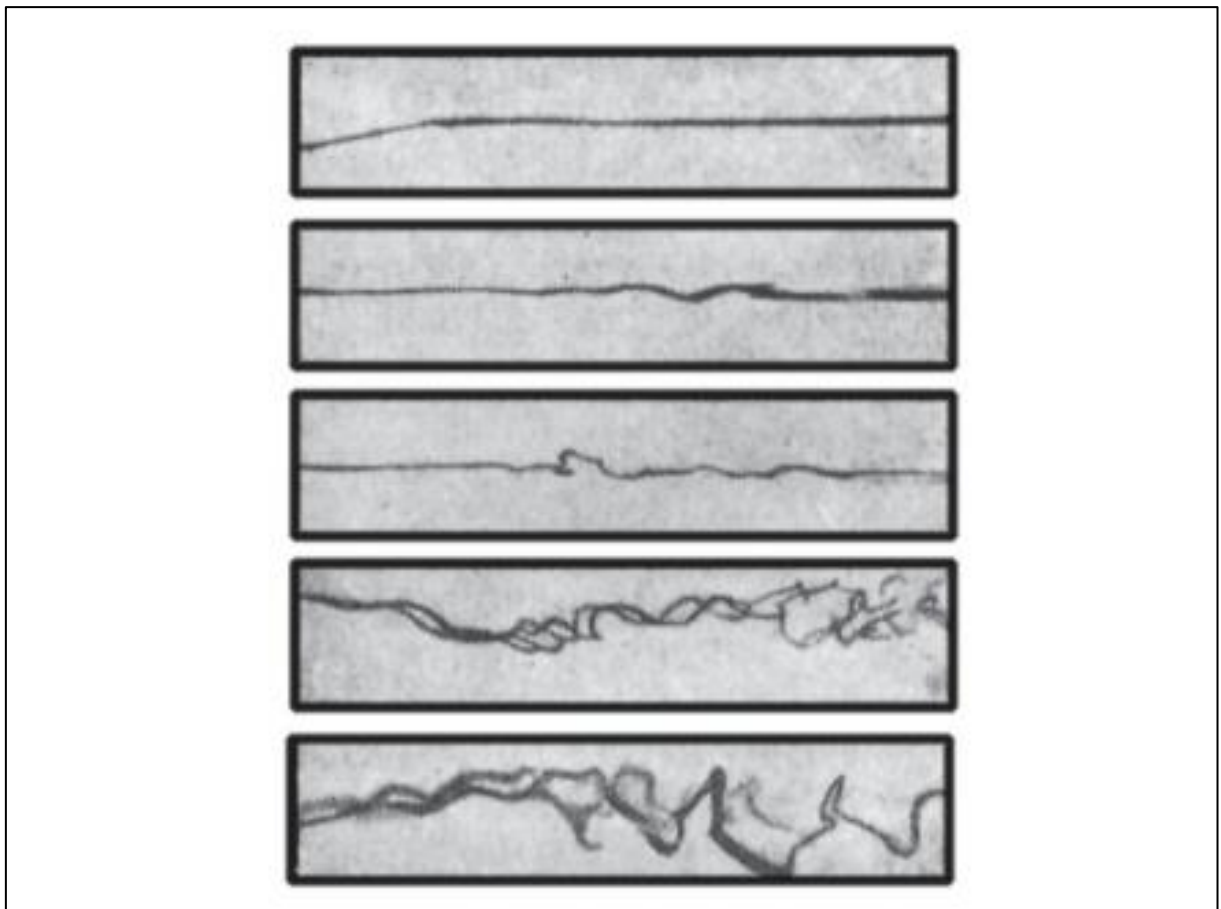
Ao diminuir a vazão do escoamento para as condições anteriores, o escoamento do corante retornou as condições anteriores a turbulência, o movimento do corante no interior do fluido está demonstrado na figura 5 (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

Figura 4 - Experiência de Reynolds.



Fonte: Azevedo Neto; Fernández (2018).

Figura 5 - Fotografia do corante no interior do tubo ao variar vazão.



Fonte: Azevedo Neto; Fernández (2018).

Durante os estudos teóricos e as várias experiências, Reynolds conseguiu demonstrar que o melhor modo de caracterização do comportamento de um escoamento, não é apenas modificando a velocidade na seção considerada, mas através de uma equação adimensional que considera os parâmetros geométricos, a velocidade e a viscosidade cinemática, essa equação ficou conhecida como número de Reynolds (Re) (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

$$Re = \frac{V \times L}{v_{cn}}$$

Sendo V , velocidade do fluido (m/s); L , dimensão linear típica (m) e v_{cn} , viscosidade cinemática (m²/s).

Para os escoamentos realizados em dutos que apresentam a seção interna circular a dimensão linear L é substituído pelo diâmetro interno da seção D .

$$Re = \frac{V \times D}{v_{cn}}$$

A viscosidade cinemática (v_{cn}) é a relação da viscosidade (μ) pela massa específica (ρ).

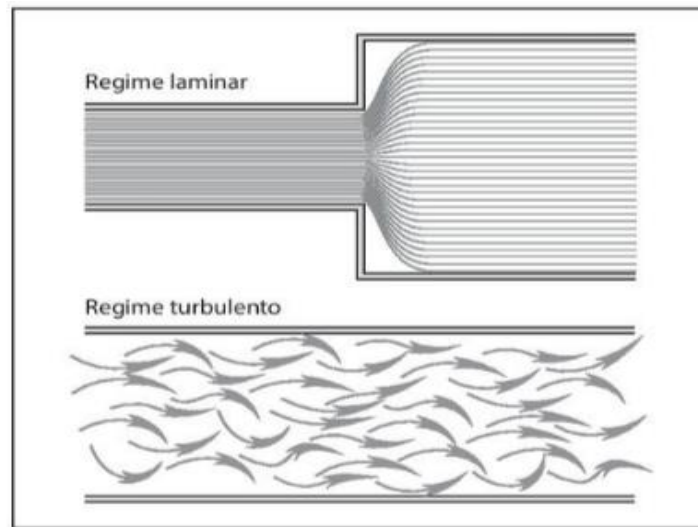
$$v_{cn} = \frac{\mu}{\rho}$$

Sendo: μ , viscosidade dinâmica (kg/ (m.s)) e ρ , massa específica (kg/m³).

Os escoamentos que ocorrem em dutos com seção circular e apresentaram Re inferior a 2000 possui como característica a trajetória das partículas do fluido bem definida, a figura 6 demonstra os regimes de escoamento, dessa forma, não ocorreu cruzamentos entre as partículas e o escoamento é considerado estável caracterizando o escoamento laminar (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

Os escoamentos que ocorrem em dutos com seção circular e apresentaram Re superior a 4000 possuem como característica um movimento desordenado entre as partículas gerando um componente transversal na velocidade caracterizando um escoamento turbulento (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018)

Figura 6 - Demonstrativos do modelo de escoamento.



Fonte: Azevedo Neto; Fernández (2018).

Na maioria dos escoamentos da água no estado líquido no cotidiano da sociedade é observado um escoamento turbulento, esta observação é justificável pelo baixo valor da viscosidade cinemática da água $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a temperatura ambiente, aproximadamente 20° C .

2.2.2 Equação de Bernoulli

Aproximadamente em 1738, Daniel Bernoulli um matemático suíço demonstrou com algumas palavras uma relação entre pressão, velocidade e elevação de um fluido sem atrito, ao relacionar a equação da energia para escoamento permanente, esta equação ficou conhecida pela equação de Bernoulli. Sua dedução de forma completa foi apresentada em 1755 por Leonhard Euler, esta equação é uma das mais famosas no campo da engenharia hidráulica, por mais que sua aplicação seja muito restrita, visto que, todos os fluidos apresentam viscosidades (WHITE, 2018).

Segundo Azevedo Neto e Fernández (2018), o teorema de Bernoulli é definido como: “Ao longo de qualquer linha de corrente é constante a soma das alturas representativas cinéticas, piezométricas e geométricas”.

$$z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = \text{constante}$$

Z = referente a carga de posição.

$\frac{P}{\gamma}$ = referente a carga de pressão.

$\frac{V^2}{2g}$ = referente a carga cinética.

A equação de Bernoulli apresenta algumas restrições, o que limita a sua aplicação tais como escoamento em regime permanente, ausência de atrito, escoamento ao longo de uma linha de corrente, escoamento incompressível, não considera possíveis trocas de energia na forma de calor ou trabalho (FOX, MCDONALD, *et al.*, 2018).

Durantes as experiências do teorema de Bernoulli observou divergências entre os resultados alcançados na prática, essa diferença foi associada ao fato da teoria não considerar a viscosidade dos fluidos e o atrito externo, como consequência desse fatores, durante o escoamento ocorre uma perda de energia ou também chamado de perda de carga que é a energia dissipada na forma de calor, dessa forma, para uma maior aplicação da equação de Bernoulli em casos práticos incluiu o termo corretivo h_f (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018)

A equação de Bernoulli adaptada para o escoamento do ponto 1 ao ponto 2

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f$$

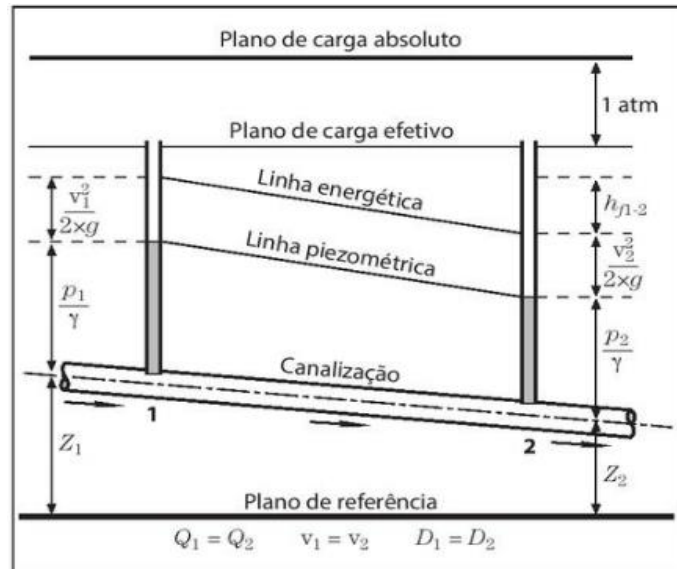
A representação gráfica dos termos da conservação de energia unindo os vários pontos entre o ponto inicial e final é possível observar uma linha acima do plano de referência que demonstra os termos $z + \frac{P}{\gamma}$ conhecida como linha piezométrica, ou também gradiente de pressão ou linha de carga efetiva, quando somado aos termos anteriores o termo referente a energia cinética é possível observar uma nova linha, definida como linha de energética ou gradiente de energia ou linha de carga total (MACINTYRE, 2017).

Em sistemas de bombeamento o líquido ao passar pela bomba ocorre um incremento de sua energia, essa energia H que a bomba fornece ao líquido é chamado de altura de elevação. Essa grandeza é representada de múltiplas formas, em função da condição que é representada.

2.2.3 Perda de carga

Durante o escoamento em um tubo de parede circular ocorre uma transformação de energia, onde a energia que o sistema possui no ponto inicial não é a mesma do ponto final, parte da energia no ponto inicial é dissipada na forma de calor, essa diferença que é notada ao se aplicar a equação de Bernoulli é chamada de perda de carga e é representada na figura 7 como h_{f1-2} (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

Figura 7 - Distribuição de energia durante o escoamento entre dois pontos.



Fonte: Azevedo Neto; Fernández (2018).

Para o regime laminar, a dissipação de energia é inteiramente responsável pela viscosidade, essa resistência ao escoamento ou atrito ocorre de forma diferente do ocorrido entre superfícies sólidas. Nas superfícies em contato com o líquido não ocorre escoamento, o escoamento vai ocorrer em camadas adjacentes, formando uma série de camadas com velocidades diferentes alcançando o valor máximo na região central do duto (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

Para o regime turbulento a resistência é uma combinação das forças viscosas e inerciais, a distribuição da velocidade no interior dos dutos é influenciada diretamente pela rugosidade das paredes, pois paredes mais rugosas causam uma maior turbulência alterando a distribuição da velocidade (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

Para Macintyre (2017), perda de carga está relacionada com a resistência ao fluxo do líquido nas paredes das tubulações, onde a responsável por essa resistência é a rugosidade encontrada na parede, a resistência interna do fluido, que é a viscosidade, e a alteração na trajetória das partículas causadas pelos acessórios instalados nas tubulações.

2.2.3.1 Perdas de carga ao longo da canalização

Julius Weisbach, professor alemão, em 1850 publicou o primeiro livro sobre hidrodinâmica, onde correlacionava a perda de carga em tubos durante o escoamento, demonstrava a relação, entre a perda de carga e a razão de comprimento pelo diâmetro (L/D) (WHITE, 2018).

O engenheiro francês Henry Darcy, em 1857 demonstrou em experimentos relacionados ao escoamento em tubos a relação entre a rugosidades nas paredes internas dos tubos e o atrito, a rugosidade é um fator importante no escoamento turbulento (WHITE, 2018).

Devido à grande complexidade do estudo analítico das perdas de carga ao longo das canalizações foi necessário a realização de estudos experimentais, dessa forma, Darcy junto de inúmeros outros cientistas conseguiram atribuir relações importantes para determinação da perda de carga. Dentre as relações, a que mais se destaca é a relação de Darcy-Weisbach ou formula universal, pois possui aplicação prática visto a perda de carga em função da velocidade.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

A equação é possível observar que a perda de carga h_f é diretamente proporcional ao fator de resistência ou coeficiente de atrito f , ao comprimento do tubo L e ao quadrado da velocidade V^2 e inversamente proporcional ao diâmetro D da tubulação.

Durante alguns experimentos Darcy verificou que a perda de carga unitária não variava exatamente com a segunda potência da velocidade, mas sim, a um valor entre 1,75 a 2, no entanto, para corrigir essa diferença ocorre um ajuste no coeficiente de atrito f (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

O coeficiente de atrito é uma grandeza do escoamento que varia em função da rugosidade relativa e do parâmetro adimensional número de Reynolds Re :

$$Rugosidade\ Relativa = \frac{\varepsilon}{D}$$

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu_{cn}}$$

O fator de atrito f é função da rugosidade do tubo (ε), da viscosidade (ν_{cn}) e da densidade do líquido, da velocidade e do diâmetro apesar dos estudos não chegou a uma relação para obtenção do seu valor, sendo necessário a consulta de gráficos, tabelas e

realizações de interpolação através de valores observados na prática em experiências ocorridas em condições controladas de diâmetros de tubulação, rugosidade etc.

Com o decorrer dos anos após a instalações das tubulações a perda de carga tende a se alterar devido a dois fatores que afetam a rugosidades das superfícies internas que são a corrosão e a deposição de materiais, ambos fatores variam principalmente com as substâncias que são escoadas no interior das tubulações e com o material que são fabricadas as paredes internas das tubulações (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

2.2.3.2 Perdas de carga localizadas

As perdas de carga localizadas são referentes a locais específicos na tubulação, onde ocorre a instalação de acessórios diferentemente das perdas de cargas canalizadas que estão ao longo da tubulação. De uma forma geral todas as perdas de cargas localizadas podem ser determinadas pela equação (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

$$h_f = \frac{K.V^2}{2.g}$$

Onde o coeficiente K é obtido para cada caso, várias instituições, laboratórios e empresas possuem valores tabelados provenientes de estudos experimentais.

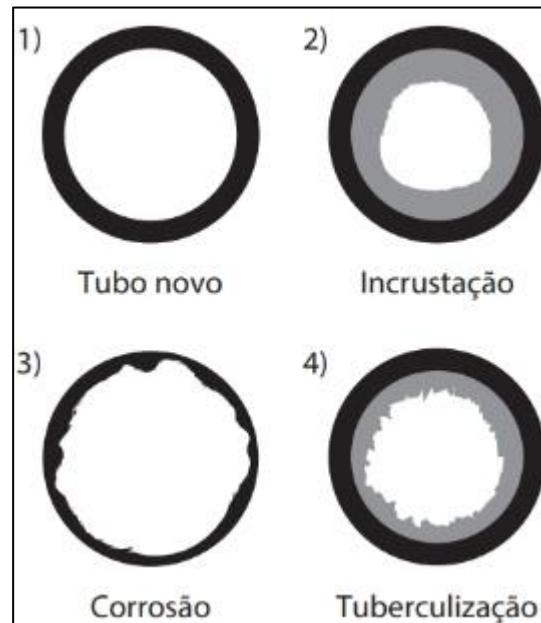
É possível utilizar de um outro recurso para o cálculo das perdas de carga localizadas esse recurso é conhecido como o método de comprimento virtual, onde para efeito de cálculo de perda de carga é considerado um comprimento maior ao trecho retilíneo da tubulação correspondente ao valor de perda de carga localizada (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

2.2.3.3 Fatores responsáveis pelas perdas de cargas

Existem inúmeros fatores que afetam a perda de carga na tubulação, os mais relevantes são as protuberâncias e reentrâncias (corrosão), representadas na figura 8, ocorrem devido as características químicas da água, formando estruturas na superfície interna, tubérculos e ou removendo material, atualmente já existem tratamentos na superfície dos tubos para minimizar a ação desses processos e garantir uma vida útil maior para rede de distribuição. Outro fator é a deposição gradativa de impurezas nas superfícies internas dos tubos, essas impurezas são transportadas pelo próprio líquido, e com o passar dos anos acarreta uma

redução progressiva no diâmetro interno do tubo (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

Figura 8 - Fatores de perdas de carga.



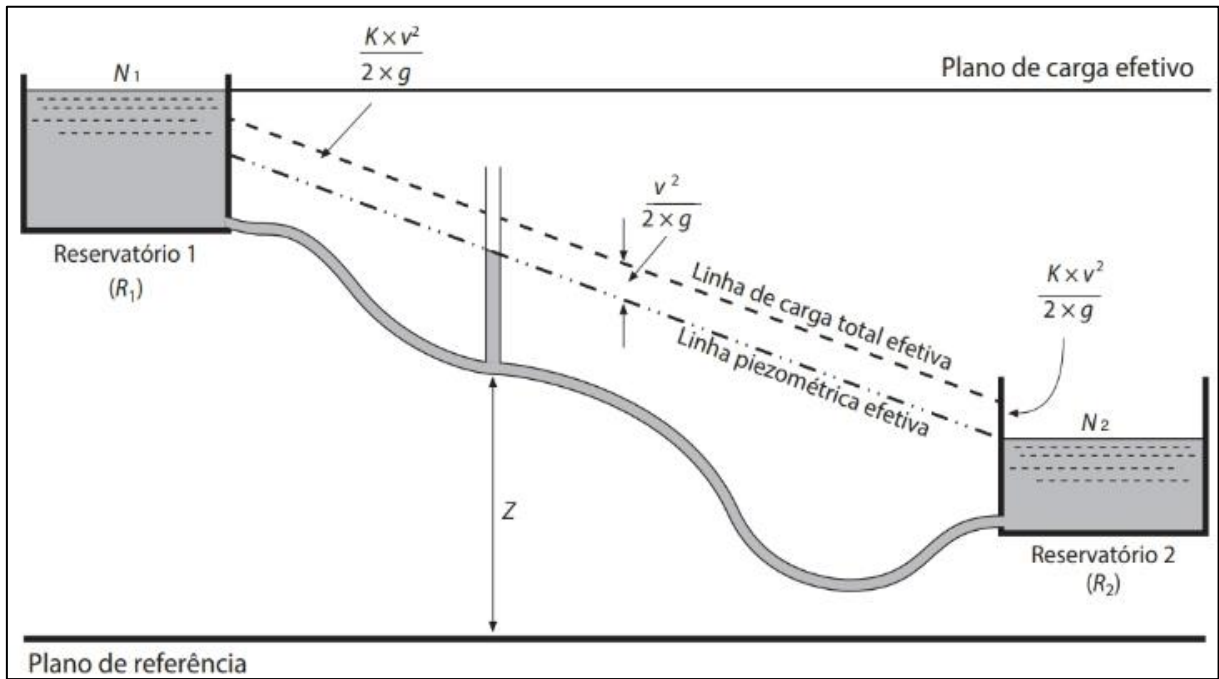
Fonte: Azevedo Neto; Fernández (2018).

2.2.4 Linha de carga e linha piezométrica

A linha de carga de uma tubulação é a representação de três cargas: a velocidade, a pressão e a posição, já a linha piezométrica é a representação das linhas de pressões (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

As linhas são separadas pela carga cinética referente a velocidade do escoamento, caso a tubulação possua diâmetro da tubulação constante, as linhas de carga e piezométricas são paralelas, conforme representado na figura 9 (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

Figura 9 - Representação de uma instalação e das linhas de carga e piezométricas.



Fonte: Azevedo Neto; Fernández (2018)

2.3 SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

Segundo a Associação Brasileira de normas técnicas (2017), a rede de distribuição de água é “constituída de tubulações, componentes e equipamentos acessórios, destinada a disponibilizar água potável aos consumidores”. Essas tubulações e acessórios se interligam formando vários anéis ou malhas (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

As redes podem ser formadas por duas formas: ramificadas ou malhada. As redes ramificadas divergem de um único ponto possuindo um sentido de fluxo bem definido. As redes malhadas formam anéis ou malhas que dificultam a determinação do sentido do fluxo (AZEVEDO NETO e FERNÁNDEZ, 2018).

2.3.1 Tipos de rede

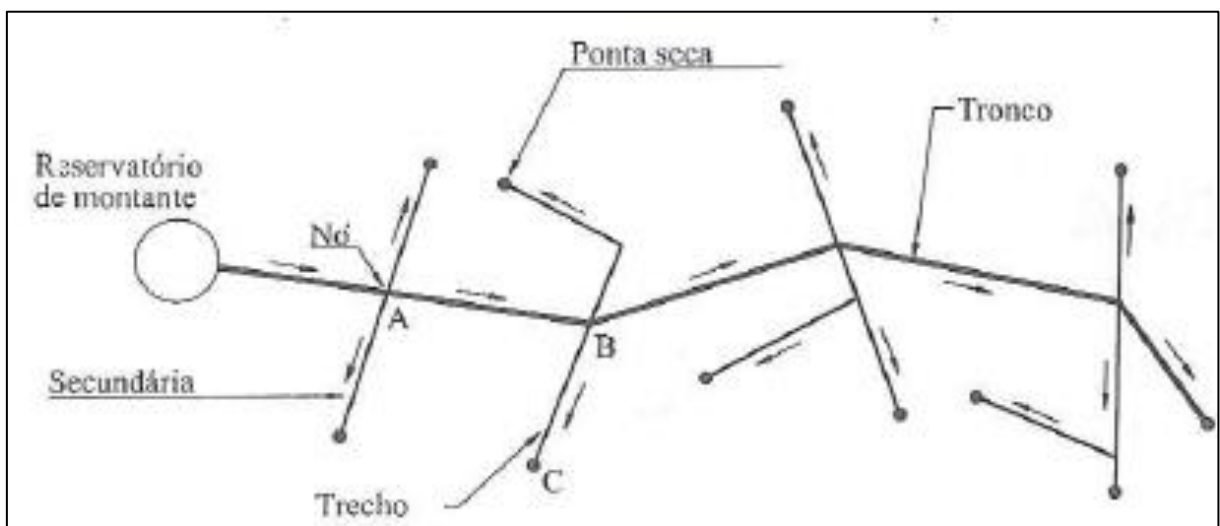
As redes de distribuição em relação a concepção geométrica, depende da quantidade de pontos a ser abastecidos, das formações topográfica e condições viárias, porém

basicamente são formadas por ramais principais, também conhecidos como condutos troncos e condutos secundários. Os condutos principais tem por finalidade a distribuição a partir das estações de tratamento até os ramais secundários, normalmente são os ramais que apresentam o maior diâmetro, em seguida os ramais secundários ao receber o fluxo proveniente dos ramais principais abastecem o consumidor final (PORTO, 2006).

As redes de distribuição apresentam dois formatos bem definidos as redes em forma de ramificação e as redes em forma de malha.

As redes em forma de ramificação são formadas a partir de um ramal tronco interligado a um reservatório central ou a uma bomba que mantém o sistema pressurizado, caracterizando um sistema com o sentido de fluxo bem definido. Segue uma representação desse tipo de rede na figura 10, é utilizado para abastecimentos de pequeno porte tais como bairros e comunidades afastadas dos grandes centros urbanos (PORTO, 2006).

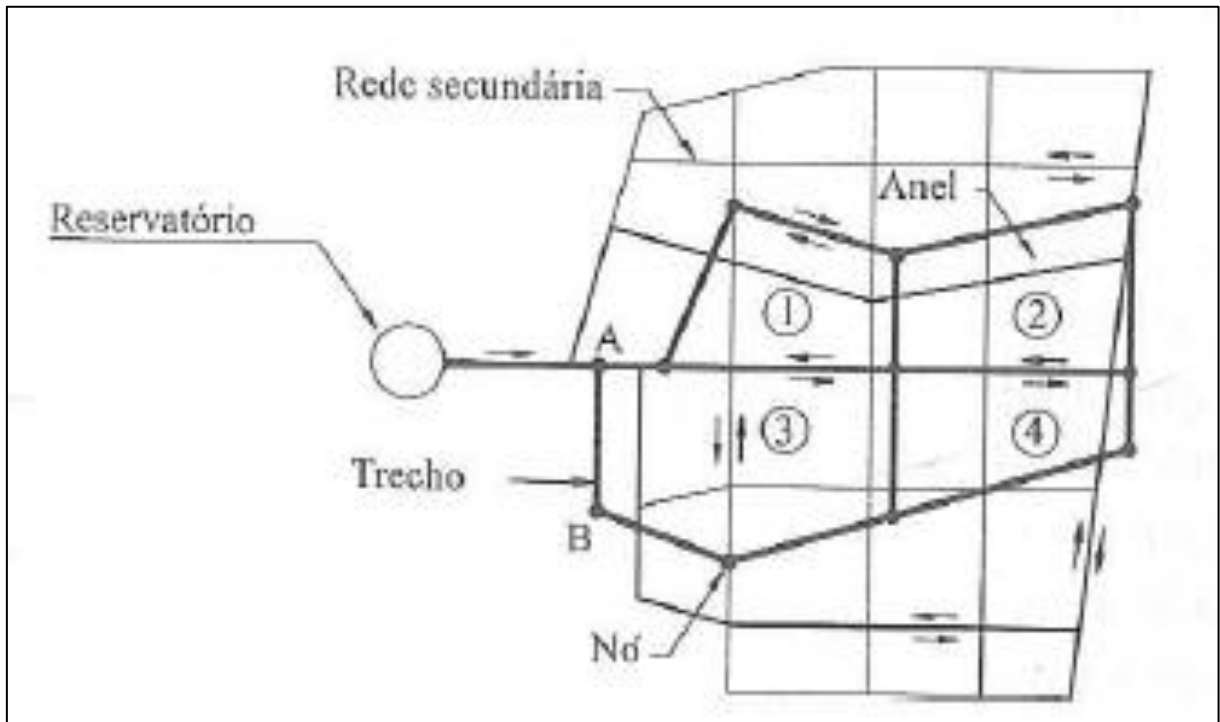
Figura 10 - Esquema de uma rede ramificada.



Fonte: Porto (2006)

As redes no formato de malhas são formadas por tubulações troncos que se interligam formando malhas, devido ao formato dificulta a definição do sentido de fluxo, no entanto, possibilita uma maior flexibilidade para abastecimento em caso de necessidade de interrupções em algum trecho. A figura 11 representa um formato de uma rede malhada, esse tipo de rede é utilizado para abastecimento de grandes regiões (PORTO, 2006).

Figura 11 - Esquema de uma rede malhada.



Fonte: Porto (2006)

Independente do formato da rede de distribuição os parâmetros hidráulicos pressão, velocidade e diâmetro se torna limitante na configuração durante o projeto. A topografia do terreno é um fator determinante na configuração da rede, pois podem ocasionar alterações nas cotas piezométricas da rede. Como norma para projetos, são consideradas como aceitáveis pressões dinâmicas mínimas de 15 mH₂O e a pressão estática máxima de 50 mH₂O com intuito de evitar excesso de pressão o que é fator determinante para possíveis perdas por vazamento. Em redes que possuem cotas topográficas superiores a 60 metros são utilizados acessórios na rede de distribuição, bombas ou válvulas redutoras de pressão, para dividir a rede em zonas de pressão (PORTO, 2006).

2.3.2 Sistemas de bombeamento

Os sistemas de bombeamento consistem em um processo de conversão de energias onde o líquido recebe energia proveniente de um sistema mecânico e converte em energia potencial de pressão e energia cinética (MACINTYRE, 2017). Porto (2006), complementa referenciando o sistema de bombeamento como sistema de recalque ou elevatório e definindo

como uma sistema que possibilita o transporte de um volume de água ou outros líquidos, de uma cota inferior para uma cota superior, também define sua constituição padrão formada por tubulação de sucção, conjunto elevatório e tubulação de recalque.

A instalação do conjunto elevatório pode ser definido de duas maneiras: afogada, quando a cota do eixo da bomba esta em uma posição inferior a cota da superfície do reservatório inferior e não afogada, quando a cota do eixo da bomba esta acima da cota da superfície do reservatório inferior (PORTO, 2006).

2.3.2.1 Bombas

As bombas possuem em seu interior, por onde o fluido passa, um rotor onde ocorre a transferência de energia que foi recebida pela bomba de uma fonte externa, motor elétrico ou motor a combustão, transforma em energia cinética que é transferida para o líquido, na forma, de aceleração centrífuga, ocorrendo o aumento da pressão do sistema (PORTO, 2006). Fox e McDonald *et al.*(2018), complementa que bombas são máquinas com elementos rotativos que trabalham com fluidos na fase líquida e pastosa.

2.3.2.2 Tipo de bombas

As bombas seguem uma classificação segundo o modo como ocorre a transformação de energia mecânica em energia hidráulica, são elas: bombas de deslocamento positivo, turbobombas (hidrodinâmicas, rotodinâmicas ou bombas de fluxo) e bombas especiais.

As bombas de deslocamento positivo possuem duas partes principais a câmara e o elemento propulsor, cada bomba pode ter mais de uma câmara ou elemento propulsor, sendo o elemento propulsor o responsável por transferir a energia de pressão ao líquido. Sua principal característica está relacionada a trajetória da partícula líquida, que nesse caso é aproximadamente igual ao do elemento que mantém o contato. Complementa Carvalho (1999), as bombas de deslocamento positivo caracterizam por alterações no volume interno das câmaras ocasionando a sucção e recalque do fluido.

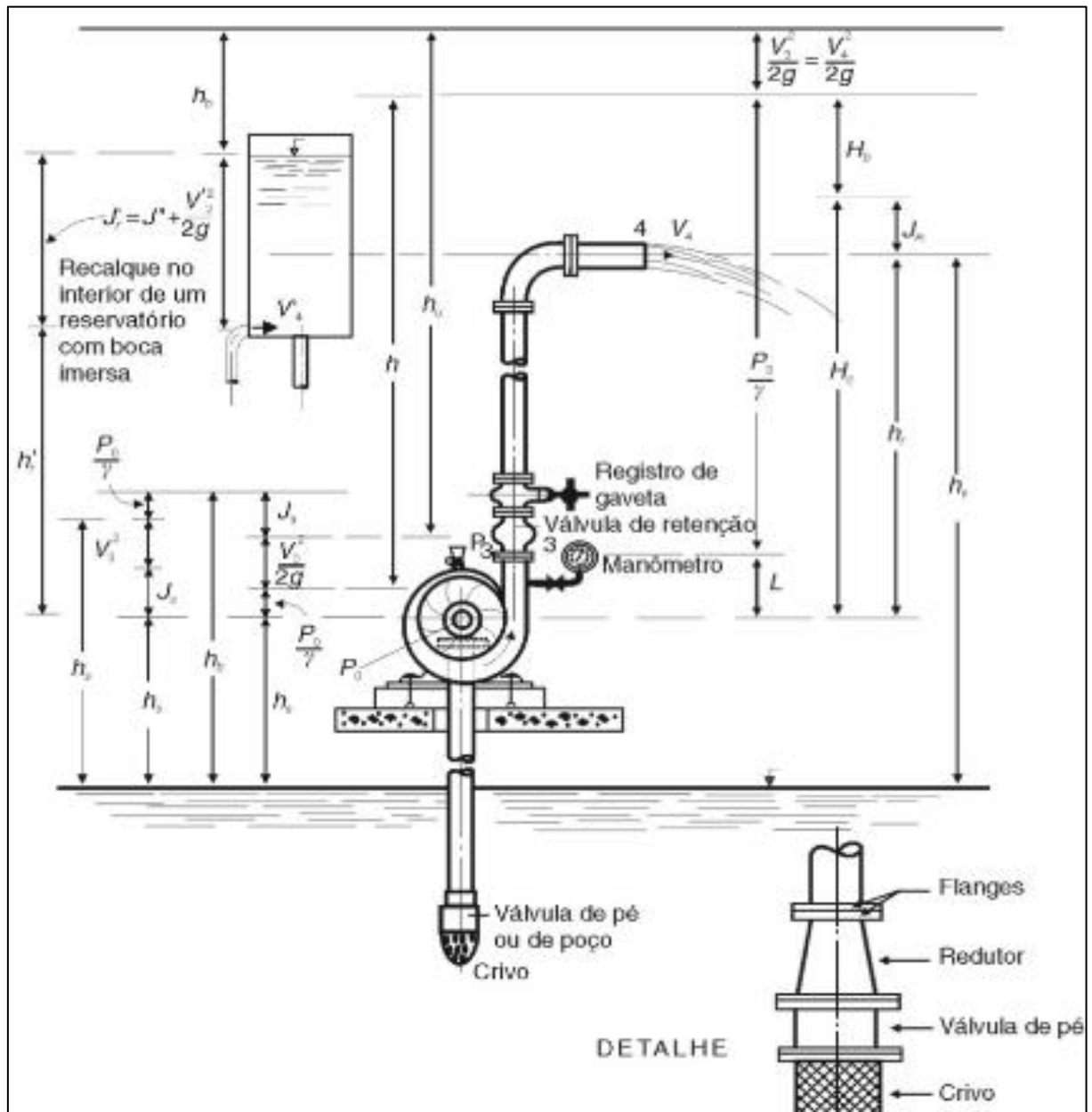
As turbobombas se caracterizam por possuir um elemento giratório com pás, denominado como rotor, esse elemento transmite ao líquido forças que são utilizadas para acelerar o fluido. A aceleração do líquido possui direção e sentido diferentes do rotor. As forças atuantes são as inercias e do escoamento. Complementa Carvalho (1999), durante a ação da força centrífuga ocorre uma depressão na entrada da bomba ocorrendo a sucção do

fluido para o interior e na saída da bomba ocorre uma sobre pressão ocasionando o recalque da fluido para fora.

2.3.2.3 Alturas de Elevação

Está representada na figura 12 as alturas representativas de um sistema de bombeamento.

Figura 12 - Altura representativas.



Fonte: Macintyre (2017)

2.3.2.3.1 Altura útil (H_u)

Energia absorvida pelo líquido durante sua passagem na bomba entre a entrada e saída da bomba. Esse valor é encontrado quando aplicado a conservação de energia entre a entrada e saída da bomba.

2.3.2.3.2 *Altura manométrica (H)*

A altura manométrica é representada pela parcela da altura útil referente ao ganho de pressão do líquido durante sua passagem pela bomba.

2.3.2.3.3 *Altura motriz de elevação (H_m)*

A altura motriz é parte da energia fornecida para bomba, seja fornecida por um motor elétrico e ou um motor a combustão para que após a retirada das energias de mancais ou rolamento e energias internas das bombas, seja fornecida energia útil para o líquido.

2.3.2.4 *Rendimento total η*

A potência total é representada pela relação entre a potência útil, ou seja, a potência referente à altura útil e a potência motriz referente a potência fornecida para o acionamento da bomba.

$$\eta = \frac{P_u}{P_m}$$

Como referência é possível adotar um rendimento de 40% a 60 % para bombas pequenas e rendimento de 70% a 75% para bombas médias.

2.3.2.5 *Potência*

Em geral os fabricantes utilizam a altura manométrica H para os ensaios e cálculos de potência útil.

A potência motriz expressa em cv

$$P_{m(cv)} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \eta}$$

Onde Q [m³.s⁻¹], H[m] e γ [kgf.m⁻³]

2.3.2.6 Alturas estáticas ou topográficas

2.3.2.6.1 Altura estática de sucção h_s

É a cota entre o nível da superfície de captação do fluido ao nível central da bomba.

2.3.2.6.2 Altura estática de recalque h_r

É a cota entre o nível de saída do fluido pela tubulação de recalque ao nível central da bomba.

2.3.2.6.3 Altura estática de elevação h_e

É a cota entre o nível de captação do fluido ao nível onde o fluido sai da tubulação de recalque, dessa forma, a altura estática de elevação e a somatória da altura estática de sucção e a altura estática de elevação.

$$h_e = h_s + h_r$$

2.3.2.7 Alturas totais, dinâmicas ou energéticas

2.3.2.7.1 Altura total de sucção ou manométrica de sucção (H_s)

É a diferença entre as alturas representativas das pressões atmosféricas e na entrada da bomba.

$$H_s = H_b - \frac{P_0}{\gamma}$$

Aplicando a conservação de energia entre a superfície livre o local de captação e a entrada da bomba

$$J_s = H_b - \left(h_s + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} \right)$$

Comparando as duas equações é possível chegar à equação da altura total de sucção

$$H_s = h_s + \frac{v_0^2}{2g} + J_s$$

Onde a altura total de sucção representa a quantidade de energia necessária para cada peso do líquido superar a cota geométrica h_s , as perdas no escoamento pela tubulação entre a superfície de captação e a entrada da bomba, e chegando a uma velocidade v_0 na entrada da bomba.

2.3.2.7.2 Altura total de recalque ou altura manométrica de recalque (H_r)

É a diferença entre a saída da bomba e a altura atmosférica ou outro ponto a ser especificado

$$H_r = \left(\frac{p_3}{\gamma} + i \right) - H_b$$

Em relação a tubulação de recalque é necessário considerar duas condições para o cálculo da altura total de recalque, a primeira é no caso do fluido ao sair da tubulação de recalque com contato direto com a pressão atmosférica e o segundo caso, se o fluido de recalque ao sair da tubulação de recalque possuir uma camada de fluido capaz de absorver toda a energia cinética.

Considerando a primeira condição

$$J_r = \left(\frac{p_3}{\gamma} + i + \frac{V_3^2}{2g} \right) - \left(h_r + H_b + \frac{V}{2g} \right)$$

Se a tubulação de recalque possuir o mesmo diâmetro os termos das velocidades se anularam e comparando com a equação anterior

$$H_r = h_r + J_r$$

Na segunda condição

$$J_{r'} = \left(\frac{p_3}{\gamma} + i + \frac{V_3^2}{2g} \right) - (h_{r'} + H_b)$$

Comparando as equações

$$H_r = h_r + J' + \frac{V_3}{2g}$$

2.3.2.7.3 Altura manométrica de elevação ou altura manométrica

A altura manométrica “soma da altura geométrica (diferença de cotas) entre os níveis de sucção e descarga do fluido com as perdas de cargas distribuídas e localizadas ao longo de todo o sistema” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017, p. 1) .

MACINTYRE (2017) complementa que a altura manométrica é a diferença entre a altura representativa da pressão na entrada e na saída da bomba.

$$H = \left(\frac{p_3}{\gamma} + i \right) - \frac{p_0}{\gamma}$$

2.4 PERDAS DE ÁGUAS

As perdas em sistemas de distribuição seguem intuitivamente uma relação onde ocorre a diferença do volume que é medido (macromedição) no fornecimento ao sistema de distribuição e o volume de água que é medido (micromedição) nos hidrômetros dos consumidores (SANTI, 2018).

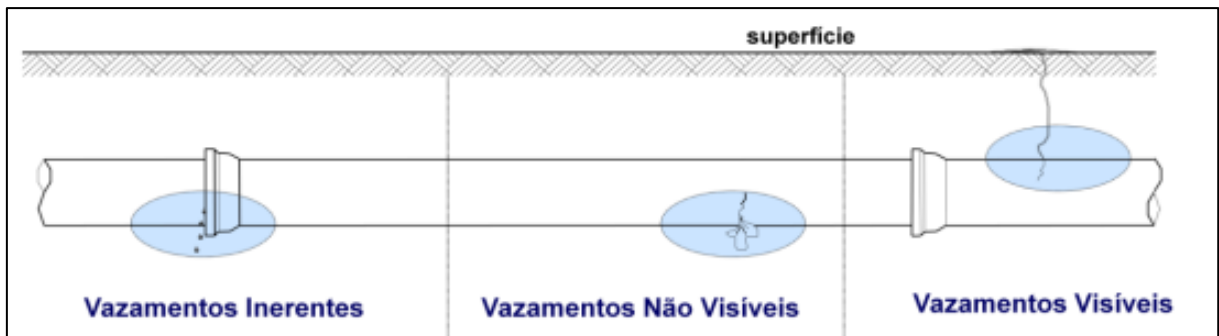
Ao mencionar o termo “perdas” em sistema de distribuição de água automaticamente ocorre a associação ao volume de água que de alguma forma não segue o fluxo até o ponto de consumo, sendo assim considerado uma perda física ou perdas reais, um exemplo de modo de perda é através de um vazamento, no entanto, existe uma outra forma de perda quando o volume entregue no ponto de consumo não é contabilizado ou pode ser contabilizado em quantidades divergentes do que realmente é consumido são denominadas as perdas aparentes ou não físicas, um exemplo desse modo de perda são os erros associados aos medidores (TSUTIYA, 2006).

2.4.1 Perdas Reais

As perdas reais são representadas em sua maioria pelos vazamentos, podendo ocorrer em qualquer parte do sistema de distribuição, devido a extensão e as condições de implantação são nos ramais de distribuição e ramais prediais onde são evidenciados os maiores números de vazamentos (TSUTIYA, 2006).

Os vazamentos podem ser classificados como visíveis e não visíveis, sendo que os não visíveis podem ser classificados como detectáveis e não detectáveis. Os vazamentos visíveis são caracterizados por grandes volumes de água que afloram na superfície, dessa forma, os vazamentos visíveis possuem as características de ser rapidamente identificados e reparados, os vazamentos não visíveis e não detectáveis possui a características de permanecerem por vários dias ou meses, são vazamentos que ocorrem em juntas ou conexões e por apresentarem um baixo volume perdido e não aflorarem a superfície, dificultam sua identificação, a figura 13 representa os tipos de vazamentos (MELATO, 2010).

Figura 13 - Representação dos tipos de vazamentos.



Fonte: Melato (2010)

Os vazamentos não visíveis exigem técnicas especiais para identificação e determinação do local do vazamento, pois em muitos casos esses vazamentos não afloram a superfície podendo significar grandes volumes de água e por longos períodos de tempo. Além das técnicas especiais tais como geofonica e estanqueidade, a periodicidade da aplicação dessas técnicas é um fator importante para eliminação de vazamentos (TSUTIYA, 2006).

A pressão de serviço é o parâmetro mais importante nos sistemas de distribuição quando se trata de vazamentos, pois é através as modificações desse parâmetro pode acarretar duplos efeitos nos sistemas, aumentando a frequência de vazamentos e aumentando a vazão em vazamentos existentes (TSUTIYA, 2006).

Em sistemas de distribuição, que possuem tubulações de materiais plásticos, polietileno ou PVC, a vazão nos vazamentos varia com as cargas piezométricas aplicadas nas regiões de trincas e furos, dessa forma, quanto maior a pressão nesses pontos maior será o vazamento.

A relação da pressão com a vazão segundo Tsutiya (2006),

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N_1}$$

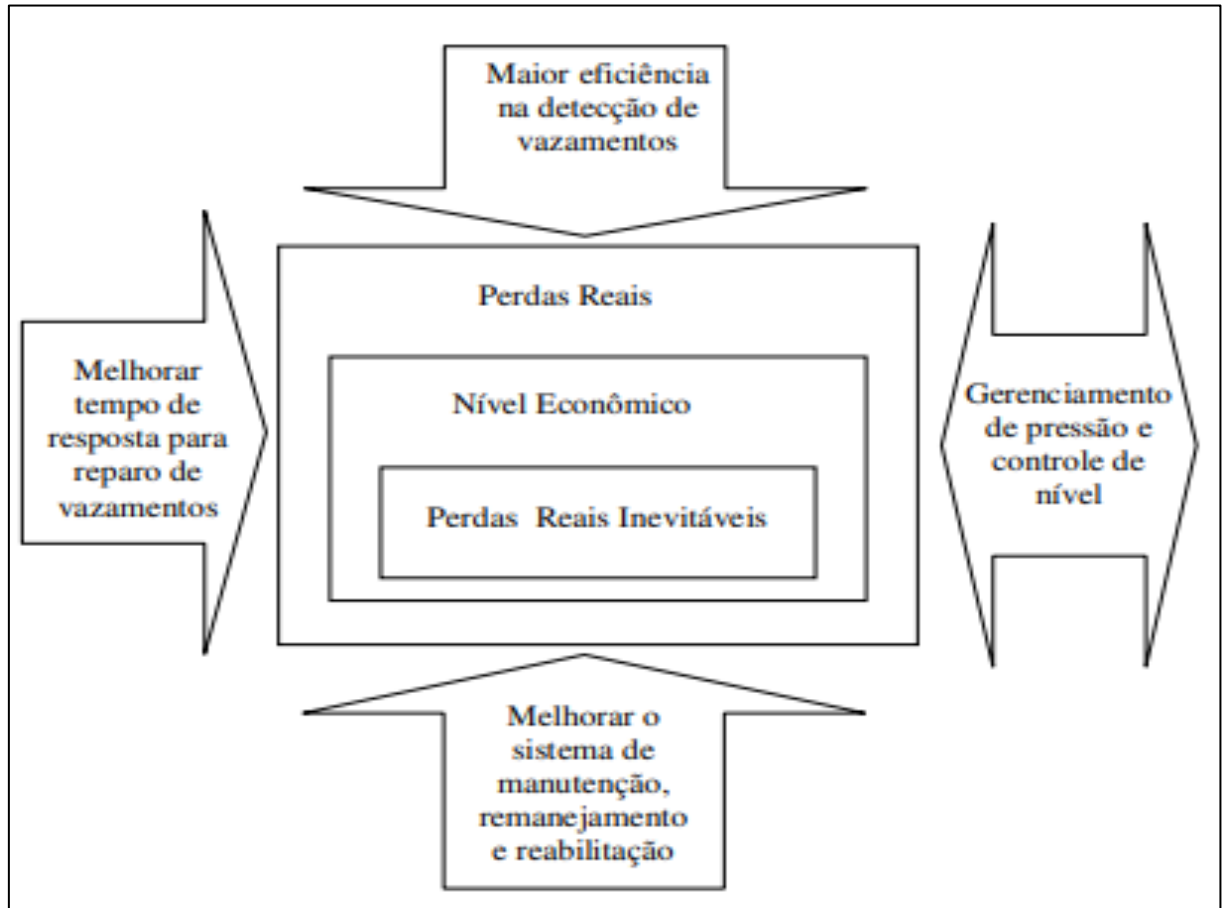
Onde: Q_0 , vazão inicial à pressão P_0 e Q_1 é a vazão final na pressão P_1 . O valor do expoente N_1 , varia conforme os materiais dos tubos, sendo que para tubos metálicos o fator é igual 0,5 e para tubos plásticos o fator varia entre 1,5 e 2,5.

2.4.2 Medidas de controle de perdas reais

A figura 14 representa um esquema dos principais componentes que auxiliam no controle e redução de perdas em um sistema de distribuição. No centro da imagem o retângulo maior é normalmente onde todos os sistemas de distribuição de águas se encontram, pois são constituídos de parcelas dos retângulos menores “Nível econômico” e “Perdas Reais Inevitáveis”. Entre os espaços do nível referencial atual, retângulo maior, e o nível, perdas

reais inevitáveis, está o espaço onde as principais ações de redução de perdas podem surgir efeitos pois apresentam uma relação custo benefício interessante.

Figura 14 - Itens para controle de Perdas.



Fonte: Tsutiya (2006).

O componente “maior eficiência na detecção de vazamentos” representa a utilização de técnicas modernas com uma maior assertividade na detecção dos vazamentos, técnicas como escutas geofônicas estão sendo aprimoradas para a realização das atividades de detecção.

O componente referente a “melhores respostas para reparo em vazamento” inclui uma diminuição do tempo de localização, estancamento e reparo nos vazamentos.

O componente “melhorar manutenção” envolve a parte de gestão, documentação técnica, ações de investigações e direcionamento de recursos.

O componente de “gerenciamento na pressão” envolve o controle da pressão dos sistemas para evitar uma potencialização dos vazamentos e o controle de níveis para evitar o extravasamento dos reservatórios.

3. METODOLOGIA

3.1 ESTUDO DE CASO

A indústria em estudo é uma companhia global que possui entre suas principais atividades a fabricação de rodas de caminhões e agrícola, componentes estruturais de automóveis da linha pesada e passeio, com uma equipe de aproximadamente 5.000 funcionários, foi inaugurada em 1947 na cidade de Cruzeiro – SP, possui uma área total de 127.525,72 m².

O estudo será realizado em função do sistema de distribuição de água potável, ele é abastecido pela companhia de água e esgoto da cidade de Cruzeiro – SP e por dois poços artesanais pertencentes a empresa e localizada na parte de interna das suas instalações.

O primeiro poço artesiano, localizado na portaria de carga, apresenta uma profundidade 58 metros e uma produção média diária de 14 m³, o segundo poço artesiano, localizado no pátio de matéria prima, possui uma profundidade de 275 metros, porém a bomba de captação de água está localizada a 138 metros de profundidade, pois o poço apresenta problema estrutural impedindo que a bomba seja instalada em profundidades maiores, o poço possui uma produção média diária de 35,91 m³.

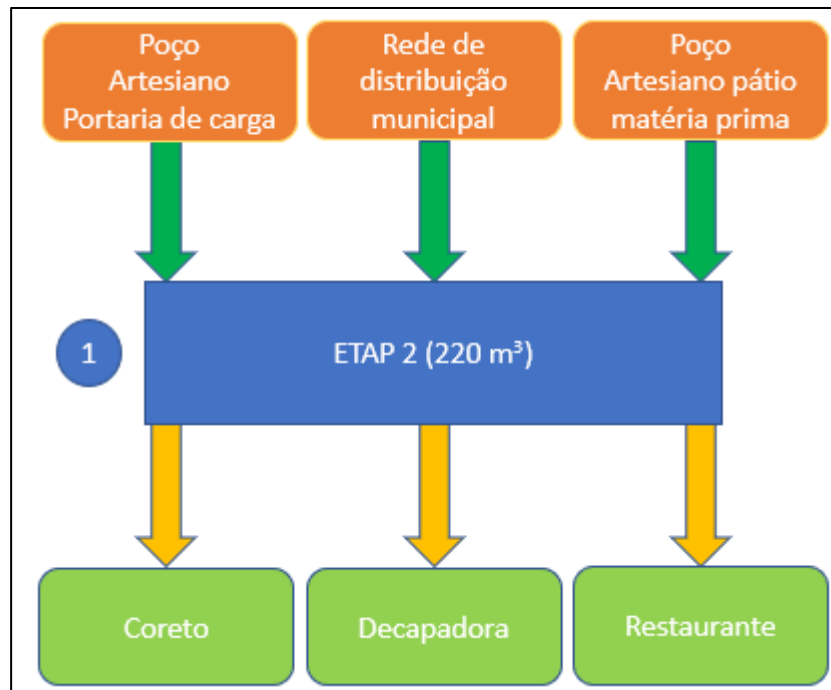
O sistema de água potável é utilizado nas áreas produtivas para o consumo humano (hidratação em bebedouros), para segurança (chuveiros e lava olhos de segurança) e nos banheiros (pias dos lavatórios). Nos banheiros, em áreas produtivas, o sistema de água para abastecimentos dos vasos sanitários e mictórios utiliza água industrial, proveniente do Rio Paraíba do Sul, por onde passa por um tratamento não sendo homologada para consumo humano. Nas áreas administrativas, o sistema de água potável é utilizado para consumo humano em bebedouros e para banheiros nos vasos, mictórios e lavatórios.

O sistema de água potável possui uma estação de tratamento de água potável (ETAP 2), onde recebe a água proveniente dos poços artesanais e do sistema de distribuição municipal, a água bruta proveniente dos poços artesanais é tratada e acumulada em oito reservatórios de fibra com capacidade de 15 m³ cada e dois reservatórios metálicos de 50 m³ cada, totalizando uma capacidade de armazenamento de 220 m³ de água potável.

A ETAP 2 distribui a água potável por três ramais, a figura 15 demonstra um esquema das instalações dos ramais de abastecimento e distribuição, para interior das instalações industriais, o ramal de distribuição 1 abastece o reservatório na área de preparação *structural*, o ramal de distribuição 2 abastece o restaurante e o ramal de distribuição 3 abastece o

reservatório no coreto central, todos os ramais possuem um sistema de medição por hidrômetro analógico, onde é realizado as leituras uma vez por dia no período da manhã pela equipe da estação de tratamento. O escoamento entre a ETAP 2 e os reservatórios secundários são realizados por sistema de bombeamento.

Figura 15 - Representação do fluxo da ETAP 2.



Fonte: Elaborado pelo autor

3.2 LEVANTAMENTO DO SISTEMA DE ÁGUA POTÁVEL

Durante a execução do trabalho foi realizado o levantamento todos os equipamentos de água potável da empresa através de uma pesquisa em campo, para realização do levantamento foram utilizadas técnicas investigativas através de consultas aos projetos antigos dos sistemas de água potável da empresa, entrevistas aos funcionários com maior experiência na planta e acompanhamento em campo das tubulações de água potável.

Após esse levantamento todos os dados coletados foram inseridos no *layout* da empresa e planilhas, discriminando os equipamentos dos poços, reservatórios, bombas e sistemas de distribuição.

3.3 CRITICIDADE DOS EQUIPAMENTOS

A criticidade é um termo muito comum nos departamentos de manutenção e operação das empresas, pois remete aos equipamentos que possuem um maior valor as operações da empresa e estão diretamente ligados a estratégia da empresa.

Após a definição dos equipamentos críticos é possível obter um plano de gestão com maior eficiência alinhado com as metas operacionais, onde é possível definir plano de renovação, aquisição de peças de estoque, priorização de recursos, dentre outros pontos.

Os parâmetros analisados foram definidos conforme a estratégia e os objetivos da empresa. Foram definidos quatro parâmetros: segurança, produtividade, custo de reparo e tempo de reparo. Analisou os parâmetros conforme o grau de criticidade onde A de maior intensidade, B de intensidade média ou moderada e C de intensidade baixa.

Para cada tipo de equipamento as definições e os parâmetros em relação aos itens analisados sofrem adaptações, dessa forma, os critérios a serem analisados se mantiveram, no entanto, com mudanças brandas que melhor se identificaram com o equipamento analisado.

3.3.1 Análise de criticidade para Reservatórios

Para os reservatórios analisados, foi considerado que o parâmetro segurança está relacionado as perdas que poderiam causar algum dano as pessoas ou aos equipamentos, para o parâmetro produtividade considerou o números de pessoas que seriam impactadas no caso de perdas no sistema, no parâmetro custo de reparo foi analisado os valores para correção das perdas nos reservatórios, visto que, a empresa possui reservatórios de diferentes materiais ocasionando valores diferentes para cada reparo, o quadro 1 demonstra a forma que foi analisado cada reservatório e seu níveis de criticidade.

Quadro 1 - Matriz de criticidade para os reservatórios.

Reservatórios			
Parâmetros Analísados	Grau de criticidade		
	A (Alto)	B (médio)	C (Baixo)
Segurança Perdas que podem ocasionar danos a equipamentos ou Pessoas	Risco de Curtos elétricos	Risco de vazamentos em corredores	Sem risco a equipamentos ou pessoas
Produtividade Numeros de pessoas afetadas	Pode chegar atingir grandes quantidades de pessoas	Pode chegar atingir moderada quantidades de pessoas	Pode chegar atingir poucas pessoas quantidades de pessoas
Custo de reparo Valores para o reparo (Tamanho do reservatorio e tipo de reparo)	Solda Inox Troca de reservatorios 15 m3	Solda Reservatorios Aço Troca de reservatorios	Reparo em fibras
Tempo de reparo Previsões de tempo para reparo	Troca Reservatorios	Reparo de fibra	Reparo de solda

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3.2 Análise de criticidade de ramais distribuição

Para os ramais de distribuição analisados, foi considerado que para o parâmetro de segurança, as perdas possam ocasionar danos a outros equipamentos ou a pessoas, para o parâmetro produtividade foi considerado a quantidade de pessoas que poderiam ser afetadas por ocorrências de perdas nos ramais de distribuição, para o parâmetro custo de reparo foram considerados, aspectos de tubulações enterradas ou aparente e tipo do material, podendo ser PVC, aço galvanizado ou ferro fundido e para o parâmetro de tempo de reparo foram considerados aspectos locais de acesso até a tubulação e o material utilizado para reparo. O quadro 2 representa a forma que foi analisado cada ramal de distribuição e seus níveis de criticidade.

Quadro 2 - Matriz de criticidade de ramais de distribuição.

Sistemas de distribuição			
Parâmetros Análisesados	Grau de criticidade		
	A (Alto)	B (médio)	C (Baixo)
Segurança Perdas que podem ocasionar danos a equipamentos ou Pessoas	Risco de Curtos elétricos	Risco de vazamentos em corredores	Sem risco a equipamentos ou pessoas
Produtividade Numeros de pessoas afetadas	Pode chegar atingir grandes quantidades de pessoas	Pode chegar atingir moderada quantidades de pessoas	Pode chegar atingir poucas pessoas quantidades de pessoas
Custo de reparo Valores para o reparo (Tamanho do reservatorio e tipo de reparo)	Ferro fundido Enterrada	Galvanizado Enterrada	PVC Aparente
Tempo de reparo Previsões de tempo para reparo	Galvanizado Enterrada	Ferro fundido Enterrada	PVC Aparente

Fonte: Elaborado pelo autor

3.4 GESTÃO DAS PERDAS REAIS DO SISTEMA DE ÁGUA POTÁVEL

3.4.1 Descoberta

A equipe da estação de tratamento é responsável pela leitura dos hidrômetros instalados em pontos estratégicos no sistema de água potável, essas leituras são marcadas em planilhas em folhas A4, disponibilizadas mensalmente.

Após as leituras diárias a equipe da estação de tratamento realiza a comparação entre a leitura do dia com a leitura do dia anterior resultando no volume de água consumido diariamente, em seguida, também ocorre a marcação na planilha disponibilizada para marcação dos hidrômetros, caso ocorra alguma divergência no consumo a equipe da estação de tratamento comunica a equipe administrativa da estação de tratamento que insere uma nota de manutenção no sistema de gestão e encaminha para a equipe administrativa de manutenção das instalações hidráulicas, que ao receber avalia e insere na programação da equipe de manutenção.

Devido ao baixo nível de ocorrências de vazamentos registrados pela manutenção e ao alto consumo de água potável registrado pela empresa, foi levantado a hipótese de que poderia estar ocorrendo perdas reais nos sistemas não sendo comunicadas e como consequência não sendo investigadas.

Para validação dessa hipótese, a equipe administrativa da manutenção de instalações hidráulicas acompanhou a leitura dos hidrômetros, em campo, de um trecho de distribuição, que possui partes onde a tubulação passava enterrada e aparente, ao realizar um balanço volumétrico do consumo diário junto da equipe da estação de tratamento e uma consulta aos projetos existente do sistema de água potável, observou uma divergência no consumo, caracterizando uma perda real.

3.4.2 Aumento dos pontos medição

A medição do consumo de água potável é realizada através da utilização de medidores analógicos, em sua grande maioria por medidores de diâmetros de tubulação 25 mm, 32 mm e 60 mm, pois são os equipamentos disponíveis no estoque central da empresa, semelhantes aos apresentados na figura 16.

Figura 16 - Hidrômetros.



Fonte: Elaborado pelo autor

Com o auxílio do levantamento do sistema de água potável realizado durante o projeto, verificou-se a necessidade de manutenção e instalações de novos hidrômetros em pontos estratégicos para medição do consumo e identificação de possíveis vazamentos.

A priorização da instalação de novos hidrômetros se deu principal, levando em consideração locais de difícil observação de vazamentos, tais como, tubulações enterradas, dessa forma, foram instalados hidrômetros nos pontos onde a tubulação aflorava do piso, sempre considerando a direção do fluxo do escoamento de água potável.

3.4.3 Tratamento das perdas reais

Com a nova malha de medição de pontos de consumo de água potável, iniciou o trabalho de acompanhamento diário dos pontos de consumo de água potável, onde parte realizado pela equipe de manutenção de instalações hidráulicas e parte realizada pela equipe da estação de tratamento, esses dados foram compilados diariamente em uma planilha do programa da Microsoft Excel, com a possibilidade de observar o consumo diário, o consumo médio diário e o volume total consumido no mês, e também o balanço volumétrico em trecho estratégicos, onde poderia ocorrer vazamentos com um grau de dificuldade elevado para identificação.

Após a compilação dos dados, o balanço volumétrico e a comparação do consumo médio com o consumo que ocorreu no dia corrente, caso algum consumo expressivo fosse observado a equipe de manutenção iniciava a inspeção, em pontos mais delimitados, pois com uma malha maior de hidrômetros, a cobertura das áreas por hidrômetros se tornou menor agilizando a inspeção por vazamentos, aumentando a velocidade no reparo e o entendimento das causas que geraram o maior consumo.

3.4.3.1 Perdas reais ações corretivas

Os vazamentos visíveis foram tratados imediatamente pela equipe de manutenção de instalações hidráulicas que após acionados realizavam o levantamento dos materiais, a melhor estratégia para reparo e o prazo que o subsistema deveria ficar inoperante. Em seguida, era comunicado a liderança das áreas impactadas o plano de manutenção corretiva e executado o plano.

3.4.3.2 Perdas reais e novas tubulações

Ao iniciar o projeto, nas primeiras compilações das leituras dos hidrômetros já se identificaram trechos enterrados que devido à complexidade (com interdição de vias principais de grande fluxo produtivo) não seria viável, a execução da manutenção corretiva, com isso, optou por iniciar estudos para alteração de trechos enterrados por trechos com tubulações aparente.

3.4.3.3 Validação da redução do consumo de água

O estudo de campo é realizado em uma empresa que possui como característica do regime de trabalho uma demanda grande de funcionários aos finais de semana em regime de hora extra para atendimento aos pedidos de produção dos clientes e como o sistema de água potável não é utilizado em nenhum processo produtivo estabeleceu indicador água potável (IAP) para acompanhamento do perfil de consumo. Esse indicador é formado pela relação entre a quantidade de litros de água consumido (V_t), considerando o fornecimento de água dos poços artesianos e do sistema de municipal e retirando o consumo de água da empresa vizinha, que o fornecimento de água é através da empresa do referente estudo de caso, e quantidade de horas trabalhadas na planta durante um mês (H_t). O fator horas trabalhadas considera as horas trabalhadas dos funcionários da empresa e dos funcionários terceiros prestadores de serviço.

$$IAP = \frac{V_t}{H_t}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo ao longo dos 6 meses possibilitou um aprofundamento na área de gestão e controle no monitoramento de perdas em sistemas de utilidades, o trabalho possibilitou a interação das equipes de apoio da manutenção hidráulica de instalações e operação das estações de tratamento de água.

O trabalho com foco na redução de consumo de água potável através de eliminação de perdas reais, possibilitou um retorno para a empresa onde foi realizado o estudo de caso, com uma documentação técnica com informações importante para o direcionamento e planejamento dos investimentos em manutenção na rede de distribuição interna de água potável, mesmo não sendo o objetivo principal do estudo o levantamento e atualização do sistema de água potável, se tornou etapa indispensável no trabalho, pois para definição de estratégias de identificação de perdas reais e oportunidades de melhorias no sistema o conhecimento das condições reais é de suma importância.

4.1 LEVANTAMENTO DO SISTEMAS DE ÁGUA POTÁVEL

O sistema de água potável em estudo não possuía atualização das informações desde 2017, dessa forma, já apresentava divergências nos equipamentos instalados e na sua distribuição, durante os primeiros meses dos estudos foi realizado a atualização de todos os componentes principais pertencentes ao sistema conforme demonstrado na tabela 2.

Tabela 2 - Principais componentes do sistema de distribuição de água potável.

Equipamentos	Quantidade
Poços tubulares	2
Reservatórios	65
Bombas	17
Ramais de distribuição	21

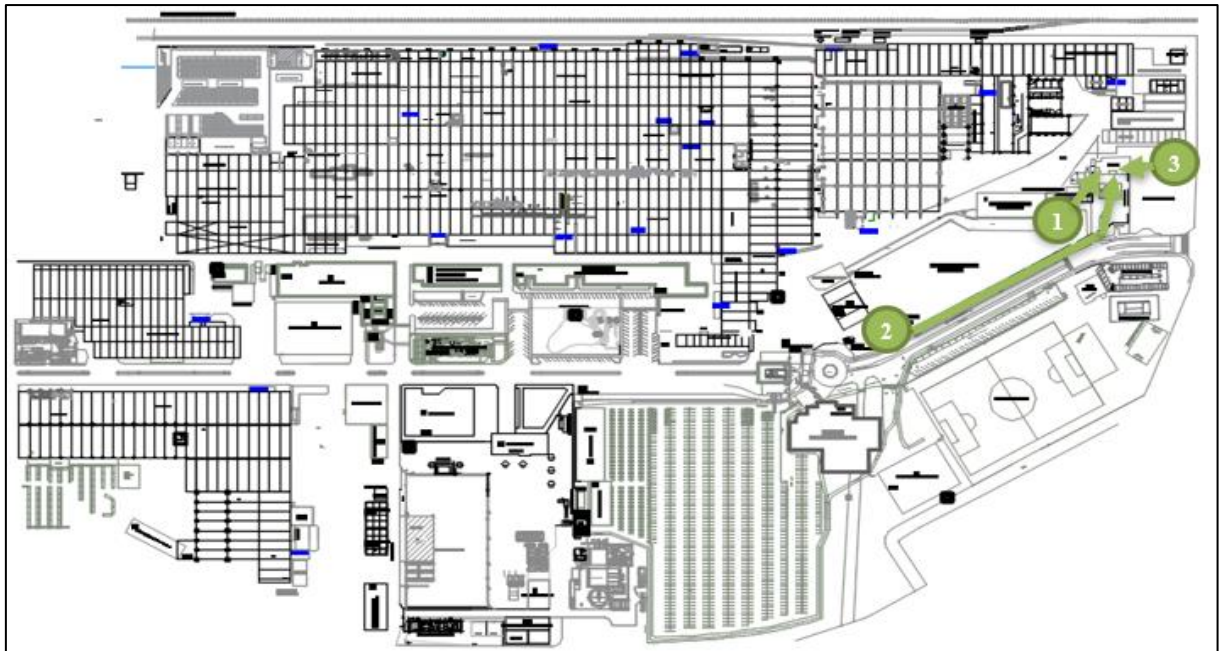
Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1 Fornecimento de água para o sistema

O fornecimento de água para o sistema de distribuição de água potável é realizado através três fontes: Poço tubular profundo 1, poço tubular 2 e rede de abastecimento municipal demonstrado na figura 19. Todas direcionam o volume útil para estação de tratamento de água potável 2 (ETAP2), realizando a distribuição conforme demandado dos pontos consumidores.

O poço artesiano 2, está localizado na área da portaria de carga, sua operação ocorre através de um temporizador e um sensor de nível, instalado na lateral da bomba, após iniciado a operação de bombeamento da água inicia o abaixamento do nível do poço, assim que o nível ultrapassa o sensor, automaticamente a bomba é desligada. O poço artesiano 1 está localizado na região do formare, seu funcionamento é automatizado através de um temporizador e um sistema de telemetria. Após a captação das águas dos poços artesianos, ocorre um processo de decantação dos particulados proveniente dos poços. São utilizados quatros reservatórios com capacidade de 15m³ cada e, em seguida, toda água potável passa por um processo de filtração e cloração, logo após, é disponibilizada para consumo.

Figura 17 - Layout da empresa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 3 demonstra as características de profundidade, diâmetro e a localização dos dois poços tubulares. A figura 17 demonstra a localização dos poços no layout da empresa.

Tabela 3 - Características dos poços tubulares profundo.

TAG	Localização	Profundidade	
		[metros]	Diâmetro ["]
Poço 1	Formare	58	6
Poço2	Portaria de carga	250	6

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 4 demonstra as características de materiais, capacidade (volume) e a localização de cada reservatório destinado ao armazenamento de água potável na empresa.

Tabela 4 - Levantamento dos reservatórios.

(contínua)

TAG	Localização	Materiais	Capacidade [litros]
RAP-01	Formare	Fibra	2.000
RAP-10	Portaria de carga	Fibra	1000
RAP-13	Preparação structural	Inox	30000
RAP-15	Preparação Rodas	Fibra	2000
RAP-16	Preparação Rodas	Fibra	250
RAP-17	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-18	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-19	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-20	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-21	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-22	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-23	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-24	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-25	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-26	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-27	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-28	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-29	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-30	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-31	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-32	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-33	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-34	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000
RAP-35	MHS	Fibra	1000
RAP-38	Área de lazer	Fibra	1000
RAP-39	Área de lazer	Fibra	1000
RAP-40	Teste de rodas	Fibra	500
RAP-42	Restaurante	Metálica	30000
RAP-43	Banco	Fibra	500
RAP-44	Vestiário central	Inox	2000
RAP-45	Vestiário central	Inox	2000
RAP-46	Vestiário central	Inox	2000
RAP-47	Centro de treinamento	Fibra	5000
RAP-48	Centro de treinamento	Fibra	5000
RAP-49	Ambulatório médico	Fibra	2000
RAP-50	Ambulatório médico	Fibra	2000
RAP-51	Ambulatório médico	Fibra	2000
RAP-52	Ambulatório médico	Fibra	2000
RAP-53	Estação de tratamento de esgoto	Fibra	500
RAP-54	Engenharia	Fibrocimento	1000
RAP-55	Engenharia	Fibrocimento	1000
RAP-56	Diretoria corporativa	Fibrocimento	1000

(conclusão)			
TAG	Localização	Materiais	Capacidade [litros]
RAP-57	Diretoria corporativa	Fibrocimento	1000
RAP-58	Diretoria corporativa	Inox	2000
RAP-59	Conjunto soldados médios	Fibrocimento	1000
RAP-62	Almoxarifado	Fibrocimento	250
RAP-63	Almoxarifado	Fibra	250
RAP-64	Estação de tratamento de água potável 1	Alvenaria	30000
RAP-66	Prensaria leve	Fibra	250
RAP-68	Roll Forming	Polietileno	250
RAP-69	GMI	Polietileno	2000
RAP-70	GMI	Polietileno	2000
RAP-71	GMI	Polietileno	2000
RAP-72	GMI	Polietileno	250
RAP-73	GMI	Polietileno	250
RAP-74	GMI	Polietileno	250
RAP-75	GMI	Polietileno	250
RAP-76	Estação de tratamento de água	Fibra	500
RAP-78	Coreto	Alvenaria	15000
RAP-79	Laminação 2	Fibra	5000
RAP-80	Ecoat chassis	Fibra	5000
RAP-81	Estação de tratamento de água potável 2	Metálica	50000
RAP-82	Estação de tratamento de água potável 2	Metálica	50000
RAP-86	Conjunto soldados leve	Fibrocimento	500

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 5 demonstra as características de marca, modelo e localização de cada bomba utilizada no sistema de água potável da empresa.

Tabela 5 - Levantamento das bombas.

(contínua)			
TAG	Localização	Marca	Modelo
BOMBA-039	Estação de tratamento de água potável 1	KSB	Megabloc50-32-60GG
BOMBA-040	Estação de tratamento de água potável 1	KSB	Megabloc50-32-160GG
BOMBA-044	Coreto	Jacuzzi	
BOMBA-058	Poço tubular 1	Leão	
BOMBA-061	Poço tubular 2	Leão	
BOMBA-055	Preparação Structural	KSB	Meganorm
BOMBA-056	Preparação Structural	KSB	Meganorm
BOMBA-053	Estação de tratamento de água potável 2	Mark	DS-7
BOMBA-054	Estação de tratamento de água potável 2	Mark	DS-7
BOMBA-047	Estação de tratamento de água potável 2	KSB	Megabloc 50-315
BOMBA-048	Estação de tratamento de água potável 2	KSB	Megabloc 50-315
BOMBA-049	Estação de tratamento de água potável 2	KSB	Megabloc 50-315
BOMBA-050	Estação de tratamento de água potável 2	Mark	DPL-6
BOMBA-051	Estação de tratamento de água potável 2	KSB	Megabloc40-160

(Conclusão)			
TAG	Localização	Marca	Modelo
BOMBA-052	Estação de tratamento de água potável 2	KSB	Megabloc40-160
BOMBA-045	Coreto	Jacuzzi	Jacuzzi
BOMBA-046	Coreto	Jacuzzi	Jacuzzi

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 6 demonstra as características da área onde ocorre da derivação da rede de distribuição, a área de destino, o comprimento, o diâmetro e o material de cada sub-ramal de distribuição de água potável na empresa.

Tabela 6 - Ramais de distribuição de água potável.

(continua)					
TAG	Localização derivação	Localização destino	Comprimento [metros]	Ø [milímetros]	Material
RAAP001	Rede municipal	ETAP 2	55	60	PVC
RAAP002	Formare	ETAP 2	40	60	PVC
RAAP003	Portaria de carga	ETAP 2	200	60	PVC
RDAP1	ETAP2	Preparação Structural	260	75	PVC
RDAP2	ETAP2	Expedição de chassis	715	85	PVC
RDAP2.1	Expedição de chassis	Restaurante	70	75	PVC
RDAP2.2	Expedição de chassis	GMI	85	60	PVC
RDAP3	ETAP2	Coreto	500	75	PVC Ferro Fundido
RDAP1.1	Preparação Structural	Centro de treinamento	200	60	PVC
RDAP1.1.1	Centro de treinamento	ETAP1	210	60	PVC
RDAP1.1.2	Centro de treinamento	Restaurante	140	50	PVC
RDAP1.1.1.1	ETAP1	Amsted	100	60	PVC
RDAP1.1.1.2	ETAP1	Expedição de longarina	30	60	PVC
RDAP1.1.1.2.1	Expedição de longarina	Preparação Wheels	1500	50;25	PVC
RDAP1.1.1.2.2	Expedição de longarina	GMI	610	60;25	PVC
RDAP1.2	Preparação Structural	Fabriva	250	85	PVC
RDAP1.3	Preparação Structural	Prensaria média	300	60;25	PVC

(conclusão)

TAG	Localização derivação	Localização destino	Comprimento [metros]	Ø [milímetros]	Material
RDAP3.1	Coreto	Laboratório Teste de roda	160	60	Galvanizado
RDAP3.1.1	Laboratório Teste de roda	Expedição de rodas	120	25	Galvanizado
RDAP3.1.2	Laboratório Teste de roda	ETE	365	32	PVC
RDAP3.2	Coreto	Prédio adm	100	60	Galvanizado

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 EQUIPAMENTOS CRÍTICOS

Com o levantamento de todos os reservatórios e sub ramais utilizados pela empresa para abastecimento do sistema de água potável, realizou a análise de criticidade de cada reservatório e sub ramal de distribuição, disponíveis nos anexos do presente trabalho. Analisando os parâmetros de segurança, produtividade, custo de reparo e tempo de reparo, caso ocorra uma possível perda real, onde foi possível o resumo do grau de criticidade de cada parâmetro para os reservatório conforme tabela 7 e para os ramais de distribuição conforme tabela 8. A empresa estudada não possuía um estudo de criticidade dos componentes pertencentes do sistema, dessa forma, não possuía uma estratégia de manutenção definida para o sistema de distribuição de água potável, com o estudo foi possível definir os reservatórios e sistemas de distribuição que necessitam de um plano de manutenção.

Dentre os parâmetros analisados, o parâmetro de segurança possui um impacto maior, visto que, perdas reais em reservatórios ou sub ramais, conforme o critério adotado, pode ocorrer risco para pessoas, nesse caso, os reservatórios possuem aproximadamente 18% com risco elevado e os sub ramais 14% apresentam risco elevado

Tabela 7 - Análise de criticidade dos reservatórios.

Grau de Criticidade	Segurança	Produtividade	Custo de reparo	Tempo de reparo
A	12	24	6	5
B	6	7	12	57
C	47	34	47	3

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8 - Análise de criticidade ramais de distribuição de água potável.

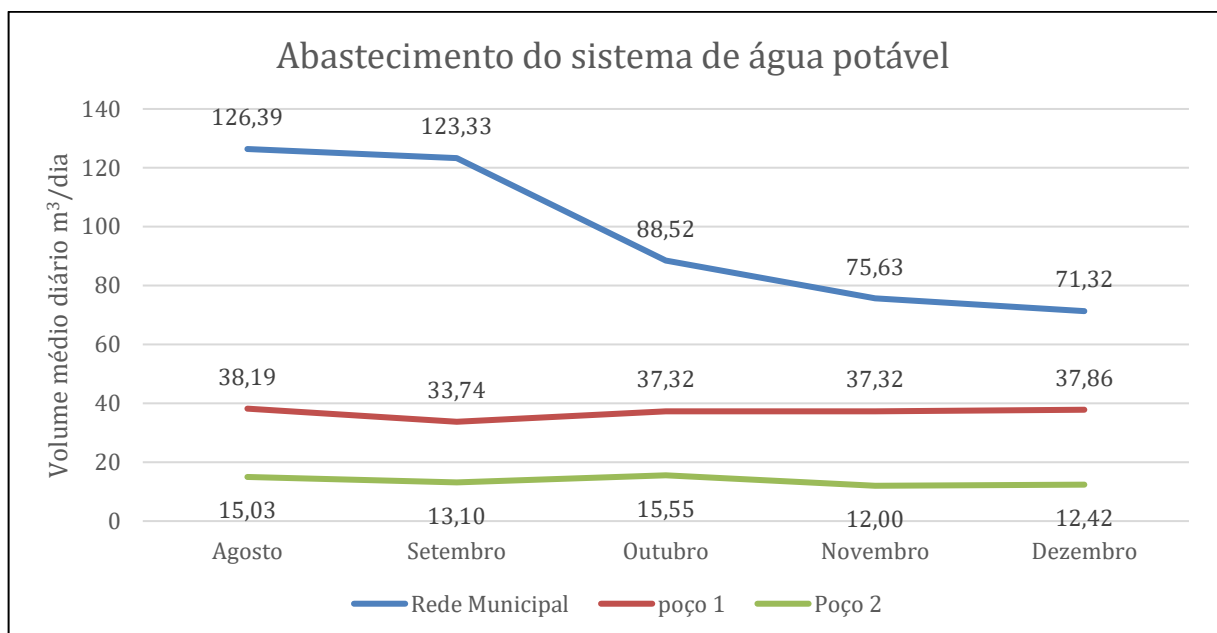
Grau de Criticidade	Segurança	Produtividade	Custo de reparo	Tempo de reparo
A	3	7	3	2
B	1	8	13	14
C	17	6	5	5

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL

O abastecimento de água potável no reservatório principal apresentou uma diminuição expressiva no consumo médio diário ao longo dos 6 meses de estudos, como a captação de água nos poços artesanais apresenta uma constância no volume captado, poço 1 aproximadamente 37 m³ por dia e poço 2 aproximadamente 13,5 m³ por dia, a redução significativa fica demonstrado na diminuição da captação da água potável do sistema municipal com aproximadamente 45%, quando comparado a média diária de abastecimento dos reservatórios em agosto de 126,39 m³ por dia e a de dezembro 71,32 m³ por dia (gráfico 2).

Gráfico 2 - Abastecimento do sistema de água potável



Fonte: Elaborado pelo autor.

A demanda de água potável para os 3 ramais principais de distribuição de forma progressiva apresentou diminuição, o ramal 1 apresentou um aumento em setembro em virtude de vazamentos pontuais que ocorreram durante o mês. O vazamento ocorreu próximo ao almoxarifado central no sub ramal de distribuição RDAP1.1.1 na figura 18, o problema

demorou 4 dias para ser identificado, o vazamento nesse ponto elevou durante esses 4 dias o volume diário para 166,75 m³ no ramal 1, o qual possuiu uma média mensal no mês de setembro de 93,37 m³, um aumento 78 % no volume diário.

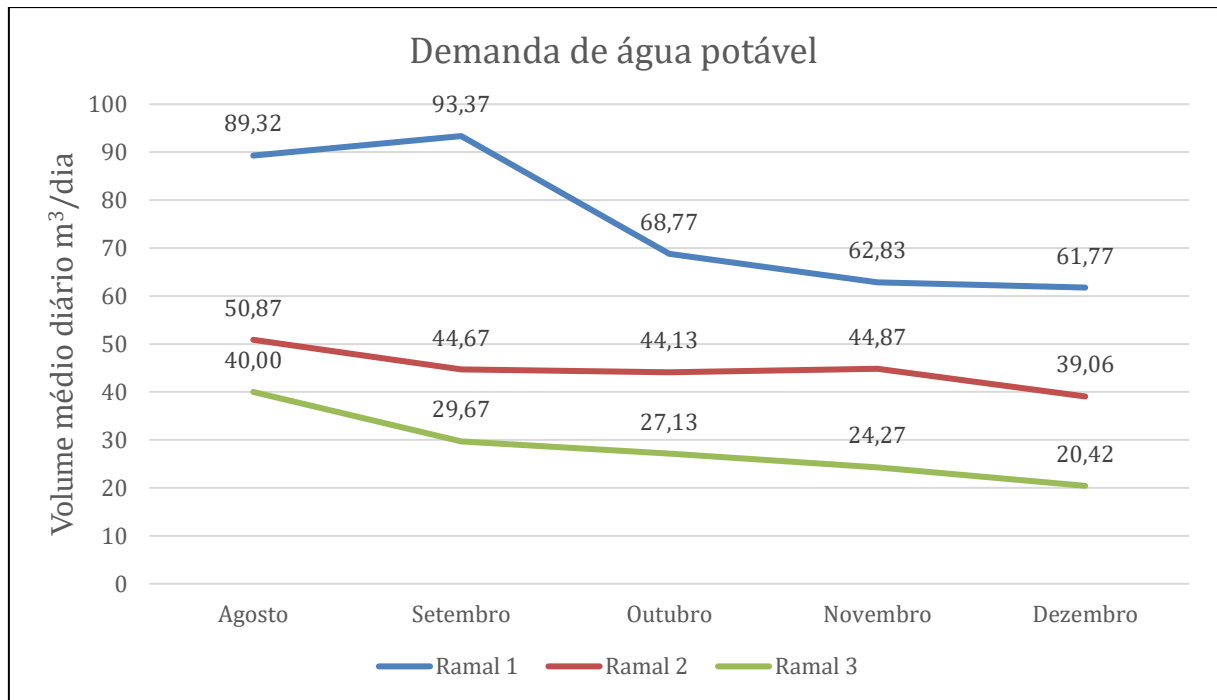
Figura 18 - Vazamento no sub ramal de distribuição RDAP1.1.1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O ramal 1 apresentou a maior redução de consumo de água na média diária em comparação com os demais ramais principais de distribuição, o consumo médio diário de 89,32 m³ por dia em agosto passou para 61,77 m³ por dia em dezembro, demonstrado no gráfico 3, significando uma redução de 30% no consumo diário. A redução do ramal 1 está vinculado as atividades de substituição da tubulação de trecho enterrados com vazamentos por tubulação aérea.

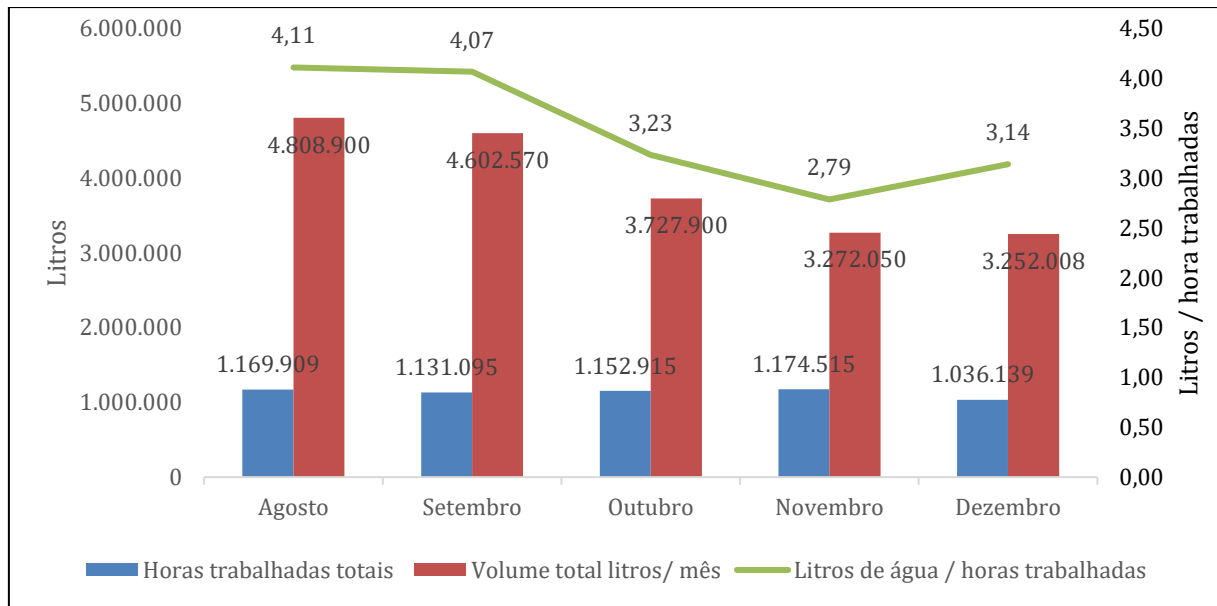
Gráfico 3 - Demanda de água potável



Fonte: Elaborado pelo autor.

O indicador de consumo de água potável (IAP) apresentou uma redução durante os meses de estudos, representado no gráfico 3, entre os meses de agosto a dezembro de 2022, houve uma diminuição expressiva no indicador, onde o volume total de água potável possui maior redução principalmente entre os meses de agosto a novembro, o volume total consumido pela planta reduziu em 24%. Não houve grandes mudanças na quantidade de horas trabalhadas ao longo dos meses, com exceção do mês de dezembro, que devido as férias coletivas várias linhas de produção estiveram parada e apesar de ocorrer uma redução de consumo de água potável, o indicador possuiu um leve aumento. Ao comparar o indicador de água potável entre os meses de agosto (IAP = 4,13 litros de água potável consumido por horas trabalhadas) no início do trabalho e no mês de dezembro (IAP = 3,13 litros de água potável consumido por horas trabalhadas) ocorreu uma diminuição de 25% no indicador.

Gráfico 4 - Indicador de água potável

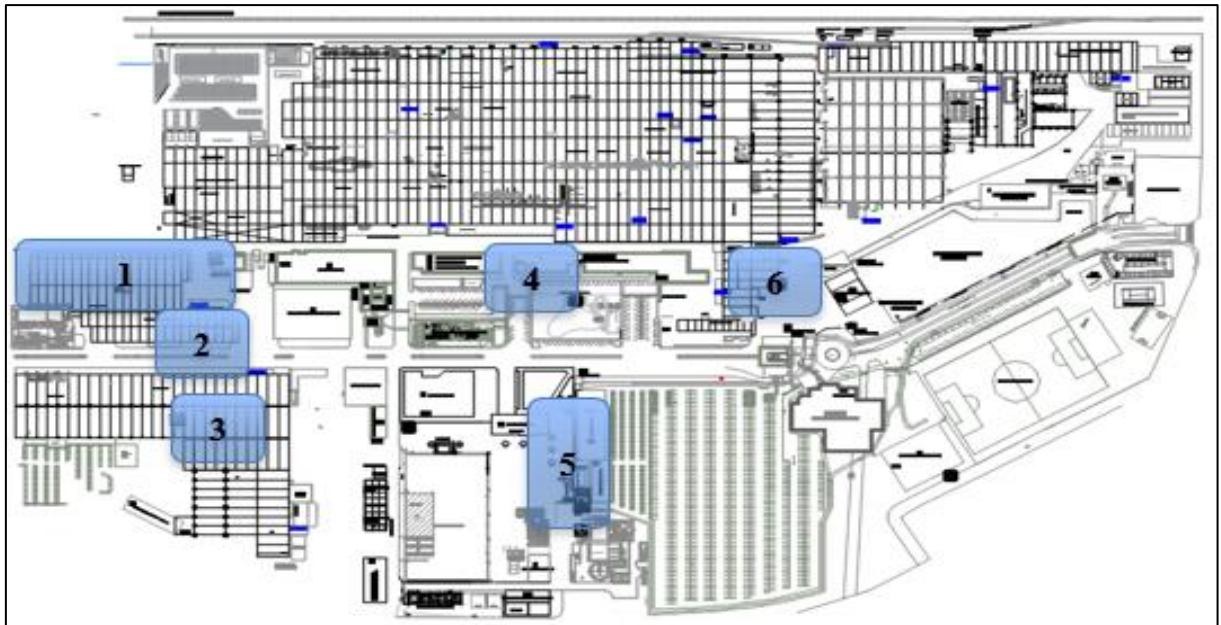


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 PERDAS REAIS

Durante o estudo foram executados vários trabalhos pela manutenção de instalações hidráulica na eliminação de vazamentos ou perdas reais de água potável, com o objetivo de eliminar a causa raiz dos vazamentos e não apenas eliminar o vazamento. Algumas atividades produziram melhorias no sistema de distribuição de água potável, como eliminação de tubulações enterradas, que dificultam a identificação do vazamento e onera os custos de reparo, por tubulações aparentes, troca de torneiras acionadas através de um dispositivo no piso, por torneiras com fechamento automático. Na figura 19, estão demonstrados os principais locais de atuação de melhorias no sistema de água potável.

Figura 19 - Indicação das principais atividades de melhoria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na área 1, delimitada no layout da empresa na figura 19, verificou-se um trecho da tubulação do ramal principal 1 que estava com vazamento, no entanto, a tubulação era enterrada em um local de grande fluxo de carregamento de longarina, como a dificuldade para realização do reparo estava evidente, optou-se pela montagem de uma nova tubulação de água potável aparente conforme figura 20.

Figura 20 - Alteração da tubulação de água potável Ramal 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na área 2 e 3, delimitada no layout da empresa na figura 19, ocorreu a substituição das torneiras com acionador de pé, este sistema apresentava muitas falhas, decorrente do uso em local com grande quantidade de sujeira causando o travamento da válvula na posição aberta, ocasionando consumo de água sem necessidade. As torneiras foram substituídas por torneiras de acionamento manual com a mão e fechamento automático através de mola. Na figura 21 é possível visualizar os trabalhos de substituição das torneiras, esse trabalho afeta o consumo no ramal principal 1.

Figura 21 - Substituição de torneiras



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na área 4, delimitada no layout da empresa na figura 19, ocorreu a troca de toda a travessia da pista, o trabalho de reparo pontual foi eliminado, pois ao iniciar o trabalho foi possível verificar o grau de corrosão elevado na tubulação, dessa forma, executou a troca de toda a tubulação, permanecendo enterrada, pois não tinha opção de montagem aérea. Esse trabalho foi realizado em frente ao prédio administrativo, conforme figura 22 e 23, e impacta no consumo do ramal principal 3.

Figura 22 - Vazamento visível.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23 - Substituição de trecho enterrado de tubulação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na área 5, delimitada no layout da empresa na figura 19, ocorreu um vazamento não visível, a hipótese do vazamento começou a ser verificada a partir do momento que o consumidor final alertou a falta de água no sub ramal ramificado, dessa forma, todos os consumidores antes do trecho enterrado possuem água e os consumidores após o trecho enterrado não possui, com isso, após avaliar as oportunidades optou pela montagem da tubulação de água aparente conforme figura 24 e 25. Esse trabalho ocorreu no bicicletário e impacta no consumo de água do ramal principal 3.

Figura 24 - Montagem de tubulação aparente.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25 - Tubulação substituída.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na área delimitada no layout da empresa na figura 19, ocorreu a substituição de hidrômetros, pois os que estavam instalados não apresentavam condições de leituras, o trabalho foi executado conforme figura 26. Esse trabalho ocorreu na área de preparação *structural* e impacta na medição do consumo no ramal principal 1.

Figura 26 - Hidrômetros Substituído



Fonte: Elaborado pelo autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo teve como foco a redução do consumo de água potável no sistema de distribuição em uma empresa privada através de investigações e eliminação de vazamentos.

O conhecimento das partes constituintes do sistema de distribuição foi o primeiro obstáculo encontrado no início do trabalho, pois ao analisar os projetos da rede de distribuição algumas divergências já foram encontradas. Dessa forma, a atualização do sistema tornou-se o primeiro objetivo específico, com isso, a determinação dos principais componentes, suas características e sua localização foram realizadas com o apoio das equipes de manutenção das instalações hidráulicas e da equipe de operação das estações de tratamento.

Após definido os principais componentes, um estudo paralelo sobre a criticidade de cada componente, seguindo parâmetros alinhados com os objetivos da empresa, foi realizado buscando entender qual componente necessita de prioridade, dessa forma, é possível direcionar investimentos em recuperação ou substituição antes que os componentes venham a falhar diminuindo assim o risco potencial de vazamento.

O trabalho de coletas de dados e compilação das informações se tornou desafiador, devido a importância da disciplina e compromisso dos integrantes das equipes, seja de manutenção que coletava uma parte das leituras ou da operação que coletava uma outra parte, nesse ponto, é de suma importância o comentário do quanto é importante a participação e engajamento dos componentes de uma equipe para obtenção de bons resultados principalmente em ambientes corporativos onde todos os funcionários são exigidos ao limite em suas atribuições, as equipes de apoio do estudo participaram ativamente, mesmo com algumas divergências no começo do estudo como dúvidas em relação às leituras e a importância de cada medição, as equipes demonstraram engajamento e disciplina na marcação das leituras.

Após as primeiras análises das leituras realizadas, observou-se oportunidades de estudos mais específicos em ramais de distribuição, já melhor identificados devido ao levantamento que havia ocorrido no início do estudo, dessa forma, o trabalho de alteração de sub-ramais de distribuição principalmente os que apresentavam características de tubulações enterradas por ramais de distribuição aparente, dessa forma, priorizando uma rápida identificação de vazamento e uma maior facilidade no reparo pela equipe de manutenção.

Com as alterações implantadas e uma redução no consumo de água potável evidenciados nas leituras dos hidrômetros, nos ramais de abastecimento e distribuídos para o interior da planta, a verificação real da redução no consumo foi validada com a implantação

do indicador de água potável (IAP) que ao relacionar o consumo de água potável por mês e a quantidade de horas trabalhadas, variável escolhida por causa da água potável não participar de nenhum processo produtivo, dessa forma, o consumo é alterado por vazamentos ou por consumo dos funcionários, evidenciou uma redução de aproximadamente 25%, o que validou o objetivo principal do estudo, diminuição no consumo de água potável.

Os resultados alcançados demonstram a importância da responsabilidade das empresas com as questões ambientais, pois mesmo em sistemas relativamente pequenos existem oportunidades de melhorias, redução de custos e aumento de eficiência, transformando a realidade das indústrias para um futuro mais sustentável, harmonia com o meio ambiente e maior competitividade no mercado global.

A forma que o trabalho foi desenvolvido possibilita a extensão da metodologia para estudos de melhoria e eficiência aos demais sistemas de utilidades (ar comprimido, gases, água de refrigeração, ...) das empresas, pois a metodologia baseou no conhecimento macro do sistema e suas principais características, após essa determinação, tratou cada parte do sistema em específico.

Como sugestão para trabalhos futuros os estudos de implantação de novas tecnologias de monitoramento e medição como telemetria é uma realidade já existente na planta para utilidades de gás natural e energia elétrica, essa expansão favorece o acompanhamento de forma mais integral agilizando o reparo em possíveis vazamentos, outra sugestão o estudo de implantação de inversores de frequência nos sistemas de bombeamento objetivando uma maior eficiência energética.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, H. A. D. Eficiência hidroenergética em sistemas de distribuição de água. *In: CONGRESSO BRASILEIRO CIÊNCIA E SOCIEDADE*, 2019, Teresina - PI. **Trabalhos apresentados [...]**. Teresina, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/cbcs/cbcs-2019/trabalhos/eficiencia-hidroenergetica-em-sistemas-de-distribuicao-de-agua?lang=pt-br>. Acesso em: 30 nov. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12218**: projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- AZEVEDO NETO, J. M. de.; FERNÁNDEZ, M. F. Y. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2018.
- BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO. **Avaliação de sistemas de bombeamento de água: manual de eficiência energética**. 2011. Disponível em: <https://publications.iadb.org/publications/portuguese/document/Avalia%C3%A7%C3%A3o-de-sistemas-de-bombeamento-de-%C3%A1gua-Manual-de-efici%C3%Aancia-energ%C3%A9tica.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2022.
- BRAGA, B. *et al.* **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2005.
- CALIJURI, M. D. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia ambiental**: conceitos, tecnologia e gestão. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.
- CARVALHO, D. F. **Instalações elevatórias**: bombas. 6. ed. Belo Horizonte : IPUC, 1999.
- DAVIS, M. L.; MASTEN, S. J. **Princípios de engenharia ambiental**. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.
- FOX, R. W. *et al.* **Introdução à mecânica dos fluidos**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- JACOBI, P. R.; EMPINOTTI, V. L.; SCHMIDT, L. Water scarcity and human rights. **Ambiente & Sociedade [online]**, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOCeditorialV1912016>. Acesso em: 30 nov. 2022.
- LENZI, E.; FAVERO, L. O. B.; LUCHESE, E. B. **Introdução à química da água**: ciência vida e sobrevivência. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- MACINTYRE, A. J. **Bombas e instalações de bombeamento**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997.
- MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas**: prediais e industriais. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.
- MELATO, D. S. **Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água**: aplicação no sistema de abastecimento de água da região

metropolitana de São Paulo. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia hidráulica) - Politécnica, Universidade São Paulo, São Paulo, 2010.

PORTO, R. D. M. **Hidráulica básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.

RADUNS, C. D. *et al.* **Água e energia elétrica: teoria e prática sobre o uso eficiente**. Ijuí: Editora Unijuí, 2020.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SANTI, A. D. **Benchmarking aplicado ao controle de perdas de água no contexto das bacias hidrográficas Piracicaba, Capivari e Jundiaí**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência da engenharia ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

SILVA, M. A. **Manual de treinamento KSB: seleção e aplicação de bombas**. 5. ed. Varzea Paulista: [s.n.], 2003.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS.
Diagnóstico temático diagnóstico temático gestão técnica de água. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2022.

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

TARDELLI FILHO, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. **Revista DAE**, São Paulo, p. 6-20.abr. 2016

WHITE, F. M. **Mecânica dos fluidos**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2018.

ANEXO A - Criticidade dos reservatórios

TAG	Localização	Materiais	Capacidade (litros)	Segurança	Produtividade	Custo de reparo	Tempo de reparo
RAP-01	Formare	Fibra	2.000	C	B	C	B
RAP-10	Portaria de carga	Fibra	1000	C	C	C	B
RAP-13	Preparação structural	Inox	30000	A	A	A	A
RAP-15	Preparação Rodas	Fibra	2.000	C	A	C	B
RAP-16	Preparação Rodas	Fibra	250	A	A	C	B
RAP-17	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-18	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-19	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-20	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-21	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-22	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-23	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-24	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-25	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-26	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-27	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-28	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-29	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-30	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-31	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-32	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-33	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B
RAP-34	Estação de tratamento de água potável 2	Fibra	15000	C	C	C	B

TAG	Localização	Materiais	Capacidade (litros)	Segurança	Produtividade	Custo de reparo	Tempo de reparo
RAP-35	MHS	Fibra	1000	C	A	C	B
RAP-38	Área de lazer	Fibra	1000	C	C	C	B
RAP-39	Área de lazer	Fibra	1000	C	C	C	B
RAP-40	Teste de rodas	Fibra	500	C	C	C	B
RAP-42	Restaurante	Metálica	30000	C	A	B	C
RAP-43	Banco	Fibra	500	C	C	B	B
RAP-44	Vestiário central	Inox	2000	C	A	A	B
RAP-45	Vestiário central	Inox	2000	C	A	A	B
RAP-46	Vestiário central	Inox	2000	C	A	A	B
RAP-47	Centro de treinamento	Fibra	5000	C	B	C	B
RAP-48	Centro de treinamento	Fibra	5000	C	B	C	B
RAP-49	Ambulatório médico	Fibra	2000	C	C	C	B
RAP-50	Ambulatório médico	Fibra	2000	C	C	C	B
RAP-51	Ambulatório médico	Fibra	2000	C	C	C	B
RAP-52	Ambulatório médico	Fibra	2000	C	C	C	B
RAP-53	Estação de tratamento de esgoto	Fibra	500	B	C	B	B
RAP-54	Engenharia	Fibrocimento	1000	B	A	B	B
RAP-55	Engenharia	Fibrocimento	1000	B	A	B	B
RAP-56	Diretoria corporativa	Fibrocimento	1000	B	A	B	B
RAP-57	Diretoria corporativa	Fibrocimento	1000	B	A	B	B
RAP-58	Diretoria corporativa	Inox	2000	B	A	B	B
RAP-59	Conjunto soldados médios	Fibrocimento	1000	C	A	B	B
RAP-62	Almoxarifado	Fibrocimento	250	C	C	C	B
RAP-63	Almoxarifado	Fibra	250	C	C	C	B
RAP-64	Estação de tratamento de água potável 1	Alvenaria	30000	C	A	A	A
RAP-66	Prensaria leve	Fibra	250	A	C	C	A

TAG	Localização	Materiais	Capacidade (litros)	Segurança	Produtividade	Custo de reparo	Tempo de reparo
RAP-67	Prensaria leve	Fibra	2000	C	A	C	A
RAP-68	Roll Forming	Polietileno	250	A	B	C	B
RAP-69	GMI	Polietileno	2000	A	A	C	B
RAP-70	GMI	Polietileno	2000	A	A	C	B
RAP-71	GMI	Polietileno	2000	A	A	C	B
RAP-72	GMI	Polietileno	250	A	B	C	B
RAP-73	GMI	Polietileno	250	A	B	C	B
RAP-74	GMI	Polietileno	250	A	B	C	B
RAP-75	GMI	Polietileno	250	A	A	C	B
RAP-76	Estação de tratamento de água	Fibra	500	C	C	C	B
RAP-78	Coreto	Alvenaria	15000	C	A	A	A
RAP-79	Laminação 2	Fibra	5000	C	A	C	B
RAP-80	Ecoat chassis	Fibra	5000	C	A	C	B
RAP-81	Estação de tratamento de água potável 2	Metálica	50000	C	C	B	C
RAP-82	Estação de tratamento de água potável 2	Metálica	50000	C	C	B	C
RAP-86	Conjunto soldados leve	Fibrocimento	500	A	A	B	B

Criticidade de ramais de distribuição

TAG	Descrição	Localização derivação	Localização destino	Comprimento [metros]	Ø [milímetros]	Material	Segurança	Produtividade	Custo de reparo	Tempo de reparo
RAAP001	Ramal SAAE	Rede municipal	ETAP 2	55	60	PVC	C	A	B	B
RAAP002	Ramal poço 1	Formare	ETAP 2	40	60	PVC	C	B	B	C
RAAP003	Ramal Poço 2	Portaria de carga	ETAP 2	200	60	PVC	C	C	B	B
RDAP1	Ramal ETAP 2 - Preparação Structural	ETAP2	Preparação Structural	260	75	PVC	C	A	A	B
RDAP2	Ramal ETAP 2 - Expedição de chassis	ETAP2	Expedição de chassis	715	85	PVC	C	B	A	A
RDAP2.1	Ramal Expedição de Chassis - Restaurante	Expedição de chassis	Restaurante	70	75	PVC	C	B	A	A
RDAP2.2	Ramal Expedição de chassis - GMI	Expedição de chassis	GMI	85	60	PVC	C	C	B	B
RDAP3	Ramal ETAP 2 - Coreto	ETAP2	Coreto	500	75	PVC Ferro Fundido	C	C	B	B
RDAP1.1	Ramal Preparação Structural - centro de treinamento	Preparação Structural	Centro de treinamento	200	60	PVC	B	A	C	B

TAG	Descrição	Localização derivação	Localização destino	Comprimento [metros]	Ø [milímetros]	Material	Segurança	Produtividade	Custo de reparo	Tempo de reparo
RDAP1.1.1	Ramal Centro de treinamento - ETAP 1	Centro de treinamento	ETAP1	210	60	PVC	C	A	C	B
RDAP1.1.2	Ramal Centro de treinamento - Restaurante	Centro de treinamento	Restaurante	140	50	PVC	C	C	B	B
RDAP1.1.1.1	Ramal ETAP 1 - Amsted	ETAP1	Amsted	100	60	PVC	C	A	B	B
RDAP1.1.1.2	Ramal ETAP 1 Expedição de longarina	ETAP1	Expedição de longarina	30	60	PVC	C	A	C	C
RDAP1.1.1.2.1	Ramal Expedição de longarina - preparação Wheels	Expedição de longarina	Preparação Wheels	1500	50;25	PVC	A	A	C	C
RDAP1.1.1.2.2	Ramal Expedição de longarina - GMI	Expedição de longarina	GMI	610	60;25	PVC	A	B	B	C
RDAP1.2	Ramal Preparação Structural - Fabriva	Preparação Structural	Fabriva	250	85	PVC	C	C	B	B
RDAP1.3	Ramal Preparação Structural - prensaria média	Preparação Structural	Prensaria média	300	60;25	PVC	A	B	C	C

TAG	Descrição	Localização derivação	Localização destino	Comprimento [metros]	Ø [milímetros]	Material	Segurança	Produtividade	Custo de reparo	Tempo de reparo
RDAP3.1	Ramal Coreto - Laboratório teste de roda	Coreto	Laboratório Teste de roda	160	60	Galvanizado	C	B	B	B
RDAP3.1.1	Ramal Laboratório teste de roda - Expedição de rodas	Laboratório Teste de roda	Expedição de rodas	120	25	Galvanizado	C	C	B	B
RDAP3.1.2	Ramal laboratório teste de roda - ETE	Laboratório Teste de roda	ETE	365	32	PVC	C	B	B	B
RDAP3.2	Ramal Coreto - Prédio ADM	Coreto	Prédio adm	100	60	Galvanizado	C	B	B	B