



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

MICHAELLY FERNANDES DE LIRA

**PANORAMA E INFERÊNCIAS DE MANIFESTAÇÕES DE CORROSÃO DOS
COMPONENTES DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM UIRAÚNA/PB**

MICHAELLY FERNANDES DE LIRA

**PANORAMA E INFERÊNCIAS DE MANIFESTAÇÕES DE CORROSÃO DOS
COMPONENTES DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM UIRAÚNA/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Sanderlir Silva Dias

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L768 Lira, Michaelly Fernandes de.
PANORAMA E INFERÊNCIAS DE MANIFESTAÇÕES DE
CORROSÃO DOS COMPONENTES DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA
EM UIRAÚNA/PB / Michaelly Fernandes de Lira. -
2021.
78 f. : il.

Orientadora: Sanderlir Silva Dias.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2021.

1. Parâmetros da qualidade da água. 2. Corrosão
metálica. 3. Sistema de abastecimento de água. 4.
Controle e prevenção da corrosão. I. Dias,
Sanderlir Silva, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MICHAELLY FERNANDES DE LIRA

**PANORAMA E INFERÊNCIAS DE MANIFESTAÇÕES DE CORROSÃO
DOS COMPONENTES DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM
UIRAÚNA/PB**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido, como parte das exigências
para a obtenção do título de Bacharela
Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Pau dos Ferros, 18 de novembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Sanderlir Silva Dias (UFERSA)
Orientadora

Profa. Dra. Josy Eliziane Torres Ramos (UFERSA)
1ª Examinadora

Prof. Dr. Wesley de Oliveira Santos (UFERSA)
2º Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conduzir e proporcionar uma jornada de vida regada de determinação para alcançar meus objetivos.

Agradeço imensamente aos meus pais, por depositarem em mim a confiança para a primeira graduanda da família, e por não pouparem esforços para promover uma boa educação.

Agradeço a minha querida irmã Mikaelle Fernandes de Lira, por me incentivar e por todo apoio prestado.

Agradeço a Alisson Gadelha de Medeiros, pela inspiração, apoio, companheirismo e aprendizado nessa longa jornada.

Agradeço em especial a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, pelo fornecimento dos dados para esse trabalho, sendo de grande importância para a pesquisa.

Agradeço a Ielena Eulalia Matias Cavalcanti, pela sua bondosa disponibilidade e apoio junto com a CAGEPA.

Agradeço a minha orientadora, professora Dr^a. Sanderlir Silva Dias, pelo aceite à orientação, apoio, compreensão, motivação e ensinamentos aprendidos nesse período.

Agradeço também a todos os amigos que se fizeram presentes ao longo dessa jornada, Karina Estrela, Maurício Lima, Breno Eduardo, José Gildemberg, José Gildeão, Josevan Claudino, Jesney Oliveira, Luana Jéssica e Paulo Roberto, sou muito grata pelo apoio e carinho de vocês.

Agradeço também a banca examinadora, pelo tempo destinado para contribuir com este trabalho.

Por fim, sou muito grata a todas as pessoas que fizeram parte dessa etapa da minha vida.

"Não podemos resolver nossos problemas com o mesmo pensamento que tínhamos quando os criamos".

Albert Einstein

RESUMO

Tendo em vista a grande problemática patológica acerca da corrosão de materiais metálicos, este trabalho teve o intuito de investigar as possíveis manifestações corrosivas nos componentes hidráulicos do sistema de abastecimento de água do município de Uiraúna, interior da Paraíba. Nesse sentido, com o auxílio de dados da qualidade da água, os quais foram fornecidos pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, registros fotográficos feitos por estudo de campo, além do auxílio de outras literaturas sobre a temática, tornou-se possível identificar, analisar, compreender e apontar os possíveis problemas patológicos oriundos da corrosão dos componentes do SAA. Com relação aos parâmetros da qualidade da água, constatou-se através de análises, que alguns valores referentes à água distribuída não estavam adequados para a finalidade de consumo humano, tais valores são de pH, turbidez e cor, o que indica que houve interferência no decorrer da distribuição, dessa forma, evidencia a possibilidade de haver produto da corrosão presente na água, o que provoca a alteração dos parâmetros de potabilidade. Quanto ao cenário corrosivo dos elementos hidráulicos, foram analisados os equipamentos de tubulações parciais da rede de distribuição, reservatórios, boias de sustentação para a tomada de água, braçadeiras, parafusos, entre outros acessórios. Desse modo, foram identificados tipos de corrosão uniforme, por pites, por placas, por frestas, aeração diferencial e alveolar, e os meios corrosivos mais comuns foram as intempéries, umidade, o solo e oxigênio presente no ar atmosférico. Nesse aspecto, realizando a comparação temporal do estado de corrosão dos componentes entre o período de 2019 a 2021, percebeu-se que não foram realizados reparos ou substituições dos elementos afetados, o que acarretou no aumento da corrosão, podendo ocasionar problemas de desempenho do funcionamento do sistema, como interrupções no abastecimento, perdas de produto quando a superfície metálica da tubulação for atacada severamente, impotabilidade da água por alterações dos parâmetros de qualidade através da liberação de subprodutos da corrosão, além de que, quando alterados para concentrações não permitidas pela regulamentação vigente de controle e vigilância da qualidade da água, nesse caso, a Portaria GM/MS nº 888, de 04 de Maio de 2021, podem provocar danos à saúde da população consumidora do recurso hídrico. Para tanto, torna-se necessária a realização de reparos e trocas de componentes hidráulicos que compõem o sistema de abastecimento de água estudado, a fim do cumprimento da legislação para proporcionar o seu bom funcionamento, bem como, o bem estar da população consumidora.

Palavras-chave: Parâmetros da qualidade da água. Corrosão metálica. Sistema de abastecimento de água. Controle e prevenção da corrosão.

ABSTRACT

In view of the great pathological problem concerning the corrosion of metallic materials, this study aimed to investigate possible corrosive manifestations in the hydraulic components of the water supply system in the municipality of Uiraúna, inland Paraíba. In this sense, with the help of water quality data, which were provided by the Water and Sewage Company of Paraíba - CAGEPA, photographic records made by field study, in addition to the help of other literature on the subject, it became possible identify, analyze, understand and point out possible pathological problems arising from the corrosion of SAA components. Regarding the water quality parameters, it was found through analysis that some values for distributed water were not suitable for the purpose of human consumption, such values are pH, turbidity and color, which indicates that there was interference in the distribution, thus, highlights the possibility that there is a corrosion product present in the water, which causes changes in the potability parameters. As for the corrosive scenario of the hydraulic elements, the equipment of partial tubing of the distribution network, reservoirs, support buoys for the intake of water, clamps, screws, among other accessories. Thus, types of uniform corrosion, by pitting, by plates, by slit, differential and alveolar aeration, were identified, and the most common corrosive media were weathering, humidity, soil and oxygen present in the atmospheric air. In this regard, performing the temporal comparison of the corrosion state of the components between the period 2019 and 2021, it was noticed that no repairs or replacements of the affected elements were carried out, which resulted in an increase in corrosion, which could cause problems in the performance of the operation of the system, such as interruptions in supply, loss of product when the metallic surface of the tubing is severely attacked, impotability of water due to changes in quality parameters through the release of corrosion by-products, in addition to that, when changed to concentrations not allowed by the regulations current control and surveillance of water quality, in this case, the Ordinance GM/MS nº. 888, of May 4, 2021, may cause damage to the health of the population consuming the water resource. Therefore, it is necessary to realize repairs and exchanges of hydraulic components that constitute the water supply system studied, in order to comply with the legislation to provide its proper functioning, as well as the well-being of the consumer population.

Keywords: Water quality parameters. Metallic corrosion. Water supply system. Corrosion control and prevention.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Componentes do sistema de abastecimento de água.....	18
Figura 2: Captação do tipo superficial flutuante.	20
Figura 3: Alocação de elevação de água bruta (EAB) e elevação de água tratada (EAT) no SAA.	21
Figura 4: Adutoras de água tratada por recalque (a) e gravidade (b).	21
Figura 5: Estação de tratamento de água convencional.....	22
Figura 6: Exemplos de reservatórios de água.....	23
Figura 7: Sistema de abastecimento de água (SAA).	24
Figura 8: Impurezas contidas na água.	26
Figura 9: Ciclo dos metais.....	29
Figura 10: Representação esquemática simplificada do processo de corrosão por aeração diferencial do aço carbono.....	31
Figura 11: Formas de corrosão.	32
Figura 12: Corrosão galvânica em componente hidráulico de aço-carbono em contato com válvula de latão.....	34
Figura 13: Corrosão por frestas.	35
Figura 14: (a) Esboço de corrosão por aeração diferencial em tubulações semi-enterradas (b) Corrosão por aeração diferencial em tubulações parcialmente enterradas.....	35
Figura 15: Localização do município de Uiraúna no Estado da Paraíba.....	40
Figura 16: Mapa representativo da localização do sistema distribuidor Capivara.....	41
Figura 17: Açude Capivara.....	42
Figura 18: Fluxograma de orientação metodológica.	43
Figura 19: Arranjo parcial do sistema responsável pelo abastecimento de Uiraúna - PB.....	47
Figura 20: Taxa de corrosão x pH.....	55
Figura 21: Triângulo da corrosão.	56
Figura 22: Tubulação de distribuição de água em ferro fundido.	58
Figura 23: Tubulação parcialmente corroída.	59
Figura 24: Tubulação de ferro fundido semi-enterrada.	59
Figura 25: Tubulação de ferro fundido semi-enterrada.	60
Figura 26: Tubulações de ferro fundido a ser comparada.	61
Figura 27: Tubulações de ferro fundido a ser comparada.	62
Figura 28: Tubulações de ferro fundido a ser comparada.	63

Figura 29: Parafusos de fixação em fase corrosiva.	64
Figura 30: Braçadeira metálica.	65
Figura 31: Braçadeira de fixação em material metálico.	66
Figura 32: Boias de sustentação em 2019.	67
Figura 33: Boias de sustentação em 2020.	67
Figura 34: Boias de sustentação em 2021.	68
Figura 35: Lateral da boia deteriorada em 2019.	69
Figura 36: (a) Peças de junção com ferrugem à mostra em 2021 (b) Peças de junção em processo corrosivo em 2021.	70
Figura 37: Peças de junção em processo corrosivo em 2019.	70
Figura 38: Reservatório em processo corrosivo em 2021.	71
Figura 39: Reservatório em processo corrosivo em 2019.	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CTF	Corrosão sob Tensão Fraturante
EAB	Elevatória de Água Bruta
EB	Estação de Bombas
ETA	Estação de Tratamento de Água
EAT	Elevatória de Água Tratada
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PB	Paraíba
PIB	Produto Interno Bruto
pH	Potencial Hidrogeniônico
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
VMP	Valor Máximo Permitido

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
USD	United States Dollar
>	Maior
Mg/L	Miligramma por litro
uC	Unidade de Cor
uH	Unidade de Hazen
uT	Unidade de Turbidez
H ₂	Hidrogênio

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Volume do açude Capivara entre os meses 01 e 05/2021.....	41
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dados da qualidade da água distribuída durante os meses 01/2019 – 05/2021.	49
Quadro 2: Dados da qualidade da água recebida nos pontos de consumo no dia 13/02/2019.	52
Quadro 3: Dados da qualidade da água recebida nos pontos de consumo no dia 15/02/2019.	52
Quadro 4: Dados da qualidade da água recebida nos pontos de consumo no dia 16/02/2019.	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	REVISÃO TEÓRICA	18
3.1	Abastecimento de água: as unidades do sistema	18
3.1.1	Manancial	19
3.1.2	Captação	19
3.1.3	Estação elevatória	20
3.1.4	Adução ou processo de adução de água bruta	21
3.1.5	Estação de tratamento de água (ETA).....	22
3.1.6	Reservatórios	22
3.1.7	Rede de distribuição	23
3.2	Qualidade da água na potabilidade	24
3.2.1	Características químicas	26
3.2.2	Características físicas	27
3.2.3	Características biológicas	28
3.3	Corrosão e suas manifestações em componentes hidráulicos	28
3.3.1	Corrosão Eletroquímica	30
3.3.2	Corrosão Química	31
3.3.3	Corrosão Eletrolítica.....	31
3.3.4	Medidas de controle e prevenção do processo corrosivo.....	36
4	METODOLOGIA	40
4.1	Caracterização do cenário analisado	40
4.2	Procedimentos metodológicos	43
4.2.1	ETAPA 1: Caracterização dos componentes do SAA	43
4.2.2	ETAPA 2: Conformidade da qualidade da água na regulamentação vigente	44
4.2.3	ETAPA 3: Inferências do ambiente e da qualidade da água no estado de corrosão dos componentes	44
4.2.4	ETAPA 4: Comparativo temporal do estado de corrosão dos componentes	45
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1	Caracterização dos componentes	46
5.2	Comparativo da qualidade da água fornecida com o padrão normativo	47
5.2.1	pH.....	50
5.2.2	Cor	50
5.2.3	Turbidez.....	50
5.2.4	Cloro residual	51
5.3	Contraste da qualidade da água distribuída e recebida pelos consumidores	51
5.4	Inferências da influência do ambiente no estado de corrosão dos componentes hidráulicos do SAA	56

5.5	Comparativo temporal do estado de corrosão dos componentes hidráulicos	57
5.5.1	Tubulação	57
5.5.2	Acessórios.....	63
5.5.3	Braçadeiras	64
5.5.4	Tomada de água flutuante	66
5.5.5	Peças de junção de tubulações ou flanges	69
5.5.6	Reservatório metálico	70
5.6	Influência dos parâmetros qualitativos da água na deterioração dos componentes hidráulicos do SAA	
	72	
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

A água é o composto inorgânico mais importante para a vida no planeta Terra. Tal composto ocupa cerca de 75% da superfície terrestre e exerce grande importância para a sobrevivência animal, vegetal, entre outras formas de vida, além de ser considerada como solvente universal, por desempenhar função de dissolução para muitas substâncias, podendo modificá-las ou ser modificada. Esse processo de dissolução fornece diversas características para a água, essas, por sua vez, variam conforme as propriedades do solo, da bacia hidrográfica ou local no qual esse solvente se encontra (LIBÂNIO, 2010).

Ainda segundo Libânio (2010), a interação entre os seres humanos e os corpos de água foi datada há aproximadamente 10.000 anos com o início da agricultura, em que era destinada a água para o desenvolvimento das primeiras culturas e criação do rebanho, essas atividades eram a principal fonte de sustento da sociedade na época e então, a continuação desses processos de cultivos perpetuam até os dias atuais, ressaltando a grande importância do recurso e seu cuidado.

Em detrimento da utilização deste recurso finito e de suma importância para a vida, torna-se necessária a implementação de medidas de controle para melhor assegurar a qualidade, forma de distribuição e consumo, para que, então, seja possível atender à todas as demandas necessárias.

Dessa maneira, para atender a esses parâmetros, a água deve estar adequada para cada tipo específico de uso, e atendendo a portarias de regulamentação, neste caso, a PORTARIA GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, a qual, segundo o Ministério da Saúde, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, na forma do Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017. Essa regulamentação fornece padrões físicos e químicos para as características da água, bem como outras informações que visam o tratamento e adequação da água para o consumo (BRASIL, 2021).

Os parâmetros da qualidade da água influenciam diretamente a durabilidade dos equipamentos do sistema de abastecimento, como por exemplo, as tubulações metálicas. Estas, quando entram em contato com os componentes químicos do fluxo, reagem formando o processo corrosivo, acarretando diversos problemas no sistema, além de comprometer a qualidade da água e a saúde dos usuários.

De acordo com Siqueira (2018), uma estimativa de 4% do PIB anual é destinada a custos mundiais com a corrosão, sendo esse índice uma base para cálculos de perdas monetárias com trocas de equipamentos, peças, estruturas, manutenções e serviços. Dessa forma, especificamente no Brasil, esse custo é em torno de 3,5% do Produto Interno Bruto, e o custo direto anual das formas de combate à corrosão de 1,38% do PIB (USD 12 bilhões), porém, é indicado também que com o emprego das práticas contra corrosão já existentes, reduziria esse gasto e a economia com a corrosão seria cerca de 1,0% do PIB (USD 8 bilhões), vale ressaltar que tais bases de valores são do ano de 2017.

Tendo em vista a grande problemática oriunda da corrosão nos componentes hidráulicos e acessórios do sistema de abastecimento de água potável, este trabalho visa analisar os parâmetros fundamentais que podem ter influenciado o meio a gerar modificações mediante induções comparativas dos cenários da corrosão no município de Uiraúna/PB.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Identificar o estado de corrosão dos componentes do abastecimento de água.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Relacionar possíveis agentes agressivos à corrosão dos componentes hidráulicos;
- ✓ Traçar cenários dos estados de corrosão dos componentes do sistema;
- ✓ Fazer comparativo do estudo corrosivo, nos anos de 2019 e 2021;
- ✓ Avaliar o processo corrosivo nas tubulações e demais componentes, indicando as principais formas, evidenciando o triângulo de corrosão;
- ✓ Propor técnicas preventivas e/ou soluções para minimização do efeito corrosivo.

3 REVISÃO TEÓRICA

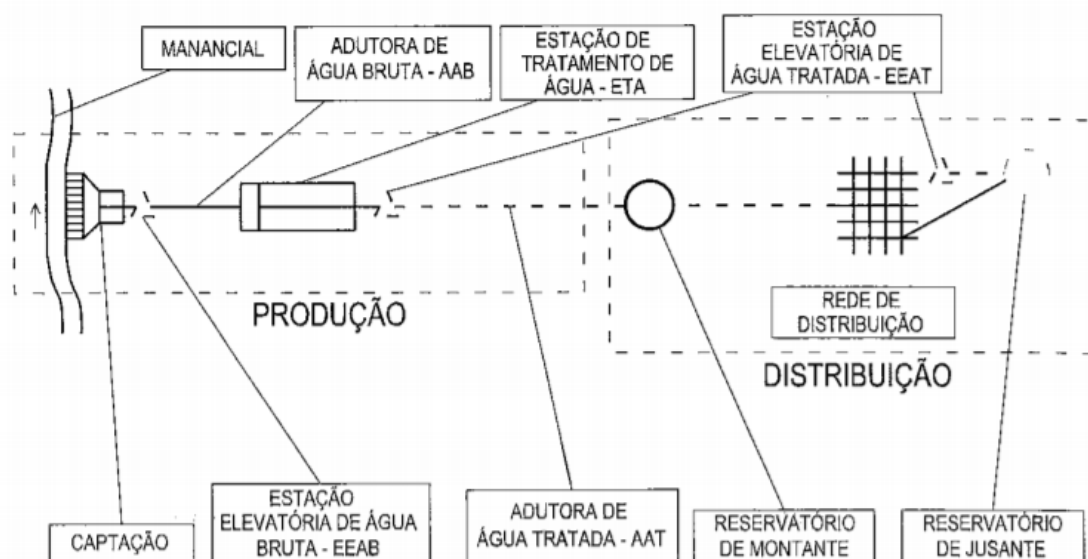
3.1 Abastecimento de água: as unidades do sistema

A função da água para a vida é fundamental. A distribuição desse recurso para a sociedade nem sempre foi acessível, tendo em vista a grande dificuldade dos povos de épocas mais remotas nos processos de manejo e abastecimento, além de condições de saneamento básico. Dessa forma, com o avanço do desenvolvimento socioeconômico, puderam ser implantadas condições adequadas de abastecimento de água e saneamento, a partir do auxílio de conhecimentos ligados à biologia e às técnicas de engenharia, mais especificadamente, mediante planejamentos de instalações de abastecimento de água, além de formas de efetivação, operação e manutenção desse sistema (HELLER. L. e PÁDUA. V. L., 2010).

Segundo o Ministério da Saúde, através do Anexo XX da Portaria Consolidada Nº 5, de 28 de setembro de 2017, evidencia no inciso VI, o conceito de sistema de abastecimento de água para consumo humano, sendo um “conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de distribuição” (BRASIL,2017).

Os componentes do sistema de abastecimento de água (SAA) são: manancial, captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água, reservatório e rede de distribuição, as quais serão exemplificadas na Figura 1 e definidas no decorrer desse tópico.

Figura 1: Componentes do sistema de abastecimento de água.



Fonte: Heller e Pádua (2010).

3.1.1 Manancial

Os mananciais são corpos hídricos naturais e podem ser classificados em superficiais e subterrâneos, esses, por sua vez, são considerados fontes para retirada de água destinada para o abastecimento da população. Esses tipos de reservas hídricas devem fornecer volumes de vazões que atendam ao consumo e a demanda da região, além de possuir qualidade adequada para diversas finalidades da população, devendo então, estar condizente com os parâmetros sanitários (TSUTIYA, 2006).

De forma exemplificativa, entende-se por mananciais superficiais: açudes, rios, lagos, barragens/adutoras. Dessa maneira, os mananciais subterrâneos são: poços artesianos, cacimbas, lençóis freáticos etc.

3.1.2 Captação

Segundo Bezerra e Cheung (2013), o processo de captação através do manancial superficial é feito por gravidade ou bombeamento e, normalmente esse tipo de classificação possui águas mais poluídas, pois os corpos d'água estão expostos ao ambiente, porém, são os tipos mais utilizados para o abastecimento, em virtude do fácil acesso e pela praticidade na captação. Já na captação por meio de manancial subterrâneo, o processo pode ser executado por galerias filtrantes, drenos, fontes ou poços.

Pode-se entender ainda como captação, o conjunto de equipamentos, estruturas e procedimentos direcionados à obtenção e distribuição de água, a partir de um corpo hídrico (BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B., 2013). O processo de captação de água pode variar conforme determinadas características do reservatório, como nível, quantidade e qualidade do recurso hídrico, bem como a sua variação ao longo do tempo. Dessa forma, torna-se possível elencar a melhor técnica para captação de água (HELLER e PÁDUA, 2010). A Figura 2 ilustra uma das formas existentes para promover a captação de água em um manancial superficial, nesse caso, através de uma boia suporte para a tomada de água.

Figura 2: Captação do tipo superficial flutuante.



Fonte: Ministério da Saúde (2020).

3.1.3 Estação elevatória

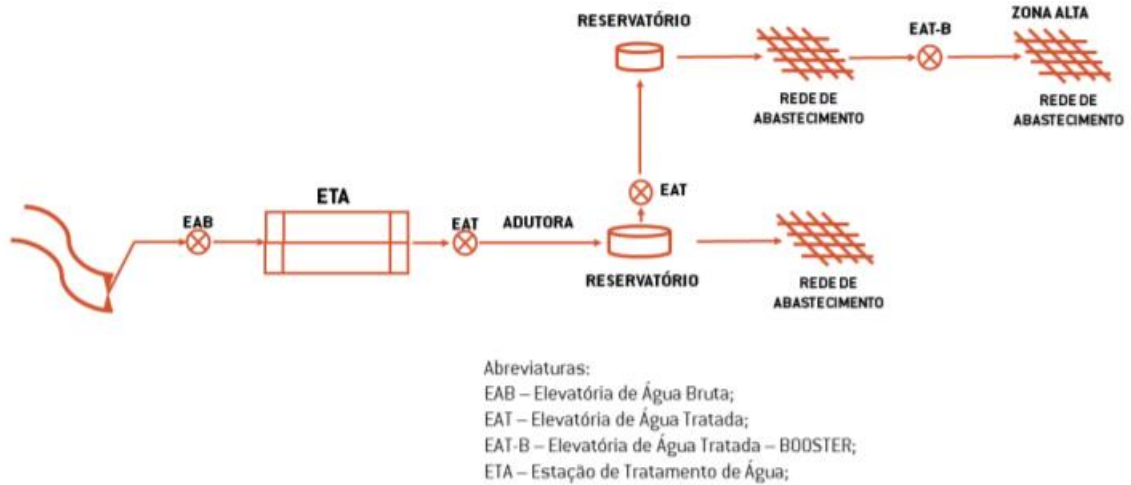
Em consonância com Tsutiya (2006), a estação elevatória é o conjunto de procedimentos e equipamentos com intuito de recalcar a água na forma bruta e na forma tratada através de bombas hidráulicas, deslocando a água para a rede de tratamento, tal processo é caracterizado de acordo com as condições topográficas do terreno. Vale ressaltar o tipo “Booster”, em que é utilizada para elevar a pressão e/ou vazão das redes de distribuições.

De acordo com o Ministério da Saúde (2020), a estação elevatória pode se subdividir em elevatória de água bruta (EAB), na qual transporta a água do corpo hídrico para a estação de tratamento (ETA), e a elevatória de água tratada (EAT), cuja bombeia a água tratada para os reservatórios destinados à distribuição hídrica, conforme a Figura 3.

Ademais, conforme Azevedo Netto e Miguel Fernández (2015), vale salientar que nessa etapa pode ocorrer o fenômeno chamado cavitação, em que, quando ocorre uma diminuição crítica da pressão absoluta durante o bombeamento, a água atinge o ponto de ebulição e, por consequência, a formação de bolhas libera íons livre de oxigênio, atacando a superfície metálica dos equipamentos, sendo caracterizado como efeito químico.

Além disso, em decorrência dessa condensação de bolhas de ar no interior da bomba hidráulica, pode ocorrer o choque de partículas de água, provocando estímulos similares a golpes na parede mais próxima do equipamento, ocasionando trincas no material, esse fenômeno é conhecido por golpe de ariete (AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ, M. F., 2015).

Figura 3: Alocação de elevação de água bruta (EAB) e elevação de água tratada (EAT) no SAA.

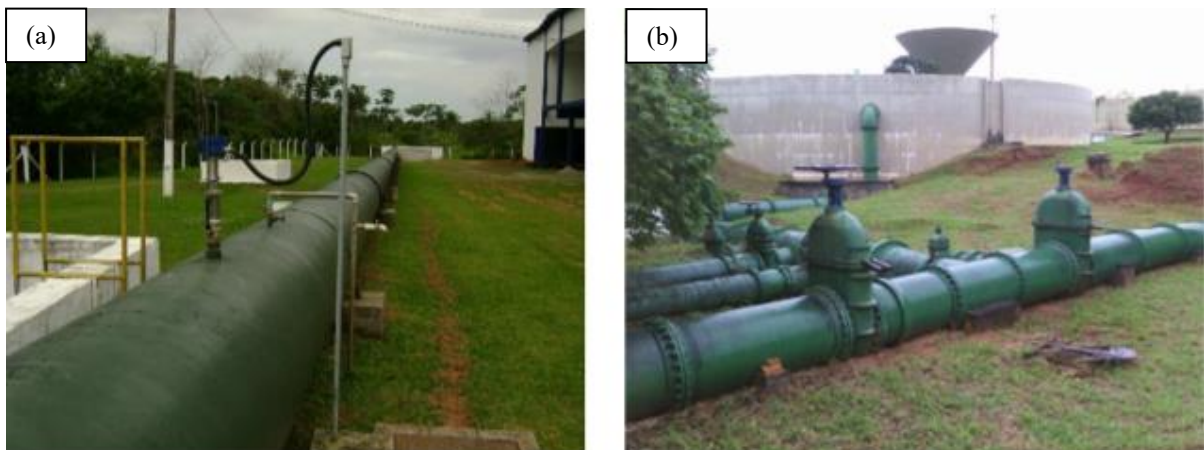


Fonte: Brasil (2020).

3.1.4 Adutora ou processo de adução de água bruta

Adutora é o sistema de condução da água por meio de tubulações e acessórios, com o intuito de transportar o recurso hídrico pelas unidades dos sistemas de abastecimento, conforme ilustra a Figura 4. A parte adutora é encarregada pelo deslocamento da água do manancial para a estação de tratamento (ETA) ou do tratamento para a distribuição de água. Estas, por sua vez, podem ser classificadas em: adutora por gravidade, recalque e mista. Podendo transportar água bruta ou tratada e seus fluxos de escoamento podem ser dos tipos: livre, forçado e misto (BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B., 2013).

Figura 4: Adutoras de água tratada por recalque (a) e gravidade (b).



Fonte: Bezerra e Cheung (2013).

3.1.5 Estação de tratamento de água (ETA)

De acordo com Libânio (2010), as unidades de tratamento são sistemas de verificação e adequação da qualidade da água bruta, em que buscam controlar os parâmetros químicos, físicos e biológicos, para que então, evite-se a transmissão de qualquer tipo de malefício para os seus consumidores. Desse modo, são realizados procedimentos para adequação da água conforme padrões da potabilidade da água para consumo humano e a Figura 5 ilustra uma ETA convencional, com as etapas de clarificação, filtração e desinfecção. Esses processos ainda são subdivididos em outras etapas, como indicado:

- Clarificação: a clarificação da água é subdividida em mistura rápida ou floculação, mistura lenta ou coagulação e decantação ou flotação. Deve-se realizar primeiramente a eliminação das partículas de sólidos suspensos e a parcela dos sólidos dissolvidos;
- Filtração: trata-se da remoção parcial das partículas de sólidos dissolvidos e microrganismos como bactérias e protozoários;
- Desinfecção: etapa na qual inativa os microrganismos ainda presentes na água (vírus e bactérias).

Figura 5: Estação de tratamento de água convencional.



Fonte: SAAE (2006).

3.1.6 Reservatórios

É o componente que retém a água logo após a saída da estação de tratamento, sendo, portanto, o local de armazenamento da água que será distribuída para a população. O intuito

dos reservatórios é fazer o controle das variações de adução e distribuição, além de manter as pressões na rede de distribuição (TSUTIYA, 2006).

De acordo com Bezerra e Cheung (2013), os reservatórios destinados à distribuição de água podem ser do tipo reservatório de montante e de jusante, em que os referentes à montante são aqueles em que sempre fornece água para distribuição, e o de jusante irá fornecer ou receber água do sistema de distribuição, armazenando recurso hídrico quando a capacidade da rede for maior do que a demanda simultânea para completar o abastecimento quando ocorrer uma situação contrária. A Figura 6 apresenta exemplos de reservatórios de água.

Figura 6: Exemplos de reservatórios de água.



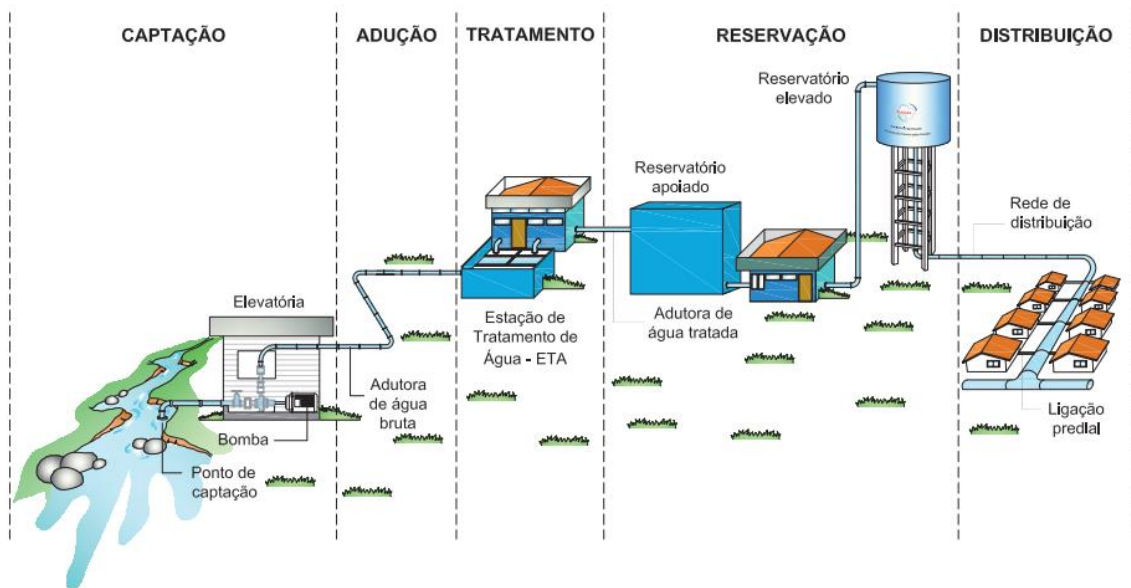
Fonte: Perez (2011).

3.1.7 Rede de distribuição

A rede de distribuição é o conjunto de conexões, acessórios e condutos hidráulicos, em que são alocados em vias públicas, com objetivo de se conectarem aos ramais domiciliares da população, ou seja, é o canal de distribuição da água potável em condições adequadas de pressão e qualidade para consumo humano e demais atividades do cotidiano (BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B., 2013).

Segundo Heller e Pádua (2010), a nomenclatura “rede de distribuição” é designada pela forma como as tubulações são instaladas, em que são formadas redes de condutos hidráulicos, em que acoplados uns aos outros, irão promover a distribuição do recurso hídrico potável aos os usuários. A Figura 7 mostra uma rede de abastecimento de água, contemplando todas as etapas necessárias até a chegada da água nos pontos de consumo.

Figura 7: Sistema de abastecimento de água (SAA).



Fonte: FUNASA (2019).

3.2 Qualidade da água na potabilidade

A água, considerada solvente universal, é o recurso mais importante para a vida. Em detrimento da sua grande importância, faz-se necessário o conhecimento de suas propriedades para controle característico, uma vez que, por ter a propriedade de solvência, essa pode transportar partículas em seu meio, acumulando impurezas que modificam a qualidade para o consumo humano. Dessa forma, a qualidade da água deve ser vista sob os aspectos sanitário e econômico.

Como menciona Libânio (2010), as chances de se contrair doenças por meio da água foram inferidas pelo homem desde o século XVI, mediante análises de cirurgiões da época e, comprovada no século XIX, em que era típica a relação entre a maior concentração de partículas e a presença de microrganismos patogênicos na água devido à falta de controle

sanitário, assim, tal contaminação dos corpos hídricos ocasionou a transmissão de doenças para a população, evidenciando a necessidade da inserção de controle e vigilância sanitária dos recursos hídricos.

No Brasil, o Ministério da Saúde, mediante o Anexo XX da Portaria Consolidada Nº 5, de 28 de Setembro de 2017 com alterações através da Portaria GM/MS Nº 888, de 04 de Maio de 2021, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e padrões de potabilidade. De acordo com o inciso XII da portaria vigente, o controle da qualidade da água para consumo humano é definido como o “conjunto de atividades exercidas regularmente pelo responsável pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água, destinado a verificar se a água fornecida à população é potável, de forma a assegurar a manutenção desta condição” (BRASIL, 2021).

Segundo o Ministério da Saúde, através do controle da qualidade da água, o qual deve ser realizado pela entidade responsável pela operação do sistema de abastecimento, e a vigilância, que deve ser feita por meio dos órgãos de saúde pública, torna-se possível garantir, de certa forma, proteção à saúde dos consumidores. No entanto, o problema é mais complexo no que se refere a outras problemáticas que podem desencadear riscos para a sociedade, como por exemplo: problemas operacionais, descarga acidental de contaminantes no manancial, rompimento das redes adutoras, ausência de manutenção, lançamento clandestino de efluentes no manancial etc. Dessa forma, o proceder dessas situações se dá através da realização de inspeções, devendo ser periódicas e constantes para promover melhor segurança (BRASIL, 2006).

Vale ressaltar que, o comprometimento na fiscalização e monitoramento das condições dos equipamentos do SAA e da própria água, é fundamental, pois, uma vez que, quando não verificados, os componentes do sistema podem perder a sua durabilidade e funcionalidade com o passar do tempo, sendo manifestados problemas através de uma gama de possibilidades de deterioração, como por exemplo, a corrosão dos equipamentos, em que pode estar atrelada a condições do ambiente e qualidade da água.

Na natureza, não se encontra água pura em si, pois, esse recurso pode conter uma variedade de impurezas, nas quais irão definir suas características, sendo estas: químicas, físicas e biológicas, como mostra a Figura 8. Mediante essa classificação, pode-se determinar o grau de tratamento adequado para a finalidade proposta (MESQUITA FILHO, 2000).

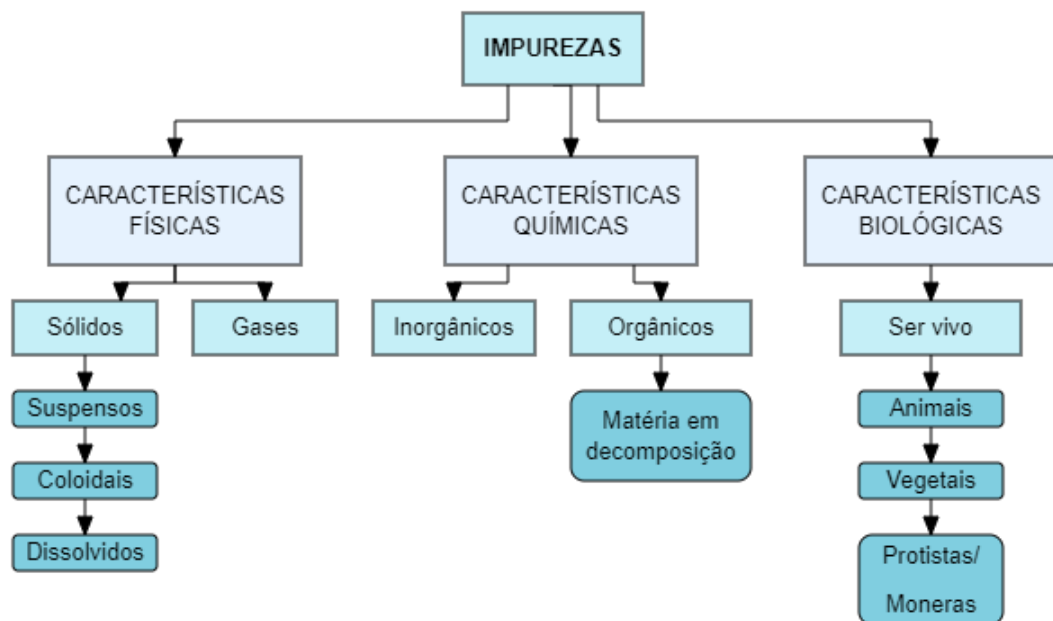
O ser humano, assim como outros seres vivos, é dependente do mais precioso recurso, que é a água, sejam para atender as suas necessidades, proteção de saúde ou para desenvolvimento em geral. No entanto, esta é encontrada na natureza em forma bruta, ou seja,

com impurezas que podem torná-la ofensiva para o consumo. Dessa forma, para que a água se torne potável, deve-se obedecer aos padrões de potabilidade, os quais são definidos por legislação (FUNASA, 2019).

Em consonância com Medeiros Filho (2000), os padrões de potabilidade são “os limites de tolerâncias das substâncias presentes na água de modo a garantir a essa, as características de água potável”, sendo assim, os padrões considerados são do tipo físico (cor, turbidez, odor e sabor), químico (substâncias químicas) e biológico (microrganismos vivos).

Nesse sentido, alguns parâmetros característicos devem ser atendidos para tornar o recurso hídrico adequado para o consumo humano e, tais características devem se adequar a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, a qual é a legislação vigente no Brasil e é responsável pelo controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, além do padrão de potabilidade (BRASIL, 2021).

Figura 8: Impurezas contidas na água.



Fonte: Adaptado de Von Sperling (2018).

3.2.1 Características químicas

Mediante a presença de substâncias na água, as características mais relevantes para serem analisadas quanto à qualidade da água são: pH, acidez, alcalinidade, cloretos, dureza, sólidos, condutividade elétrica, elementos químicos especiais e gases dissolvidos

(MEDEIROS FILHO, 2000). Dessa maneira, neste trabalho são enfatizados os seguintes parâmetros:

- ✓ pH: potencial hidrogênio da água, em que é medido de acordo com as interações dos íons. Este, quando apresenta: ($\text{pH} < 7,0$) é considerado nível ácido; ($\text{pH} > 7,0$) nível alcalino, e ($\text{pH} = 7,0$) é considerado neutro. Nesse viés, as águas naturais geralmente são encontradas com pH aproximadamente neutro, porém, as características do solo, a presença de ácidos húmicos (cor intensa) ou atividade fotossintética intensa podem contribuir para a alteração do pH. O valor do potencial hidrogênio pode influenciar na solubilidade de diversas substâncias, além disso, é um parâmetro muito importante no processo de tratamento da água e também no pós-tratamento, em que se deve verificar o nível de pH para evitar processos corrosivos. Ademais, vale mencionar que o processo de cloração da água perde eficiência caso o pH esteja elevado. De acordo com a legislação vigente, valor estabelecido para esse parâmetro, relacionando o tratamento da água para ao consumo humano, é entre 6,0 e 9,0 (BRASIL, 2021; HELLER e PÁDUA, 2010).
- ✓ Cloro residual: elemento cujo objetivo é a desinfecção da água, este possui alta capacidade de oxidação da matéria orgânica e inorgânica, possui propriedade residual e pode ser medido e monitorado nas redes de distribuição após o tratamento e distribuição. “É obrigatório a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede)” No entanto, esse valor pode ser aumentado por questões de segurança na distribuição, ou seja, a presença de cloro residual protege as tubulações e estruturas do desenvolvimento micro-organismos patogênicos, porém, esse valor deve ser respeitado de acordo com a legislação vigente, neste caso, sendo 5 mg/L (BRASIL, 2014; BRASIL, 2021).

3.2.2 Características físicas

Os aspectos físicos que podem caracterizar uma substância são: cor, turbidez, temperatura, sólidos, condutividade elétrica, sabor e odor. Este trabalho menciona o uso das seguintes características:

- ✓ Cor: a cor da água é originada mediante a presença de matéria orgânica colorida, além de ferro e outros metais constituintes naturais do corpo hídrico ou como produto corrosivo originado. Ademais, também pode ser resultante de contaminação por efluentes industriais,

o que é um caso mais preocupante e deve ser analisado. A cor também pode sofrer variações de acordo com o pH da água, em que valores mais baixos de pH podem promover uma fácil remoção de cor. Pode-se citar que uma cor verdadeira é aquela cuja não sofre interferência de partículas suspensas na água, sendo obtida após a centrifugação ou filtração de uma amostra, já a cor aparente pode ser definida como aquela que é medida sem a remoção de partículas suspensas na água. Dessa forma, o valor admissível para o parâmetro de cor, para a finalidade proposta neste trabalho, deve ser menor ou igual a 15 uC, ou ($<15\text{uC}$ ou $<15\text{uH}$) (BRASIL, 2021; HELLER e PÁDUA, 2010).

- ✓ Turbidez: “representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma”. Nesse sentido, sólidos em suspensão são os responsáveis por essa dificuldade de passagem direta da luz (VON SPERLING, 2018). Dessa forma, vale mencionar a importância da turbidez da água bruta, uma vez que, é um dos principais parâmetros para determinação da tecnologia e controle dos processos de tratamento da água (HELLER e PÁDUA, 2010). Conforme a legislação vigente, o valor admissível de turbidez é no máximo 5,0 uT (BRASIL, 2021).

3.2.3 Características biológicas

Os componentes biológicos que podem se manifestar na água através de impurezas são: bactérias, protozoários, vírus, cianobactérias, algas e outros tipos de microrganismos. No entanto, estas não fazem parte do escopo deste trabalho.

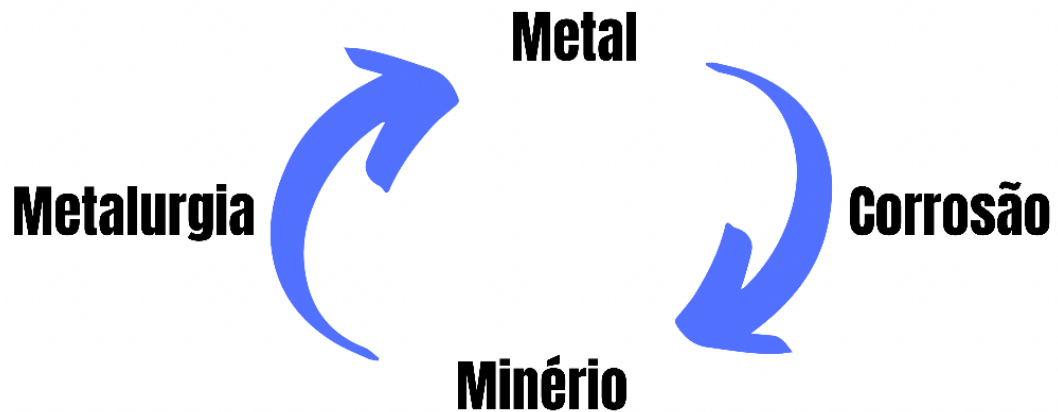
3.3 Corrosão e suas manifestações em componentes hidráulicos

O processo de corrosão é definido como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica, decorrente do meio ambiente e que pode estar associado ou não a tensões mecânicas. Essa interação do meio físico com o meio químico promove alterações indesejáveis, uma vez que, o material submetido ao processo corrosivo se decompõe, influenciando diretamente na sua durabilidade e funcionalidade (GENTIL, 2017).

Segundo Tsutiya (2006), em determinados casos pode-se considerar o processo corrosivo como o inverso da metalurgia, em que, partindo da extração do material pelo

minério, este retorna para natureza em condições semelhantes ao minério que foi extraído, sendo considerado um ciclo metálico, conforme exemplifica a Figura 9.

Figura 9: Ciclo dos metais.



Fonte: Adaptado de Tsutiya (2006).

De modo simplista, a corrosão ainda pode ser definida como a tendência espontânea de deterioração, que acontece mediante contato direto da água com o material metálico, ocasionando reações químicas que promovem a alteração das características da água, como por exemplo, a cor, a turbidez, pH, entre outros fatores. A modificação dessas propriedades resulta numa aparência comumente chamada de “água vermelha”, devido contato com o produto corrosivo que é rico em ferro, sendo considerada prejudicial à saúde dos consumidores (em elevadas concentrações), além de acarretar outros tipos problemas relacionados ao uso no cotidiano, como por exemplo: manchas em roupas de coloração clara (PEREZ, 2013).

Em consonância com Gentil (2017), o desenvolvimento tecnológico da sociedade ocasionou a elevação de custos referentes à corrosão, transformando-se um fator de grande importância, em que se tornou relevante realizar análises desde a fase de projeto, pois uma parcela considerável da economia nacional é destinada para as correções e substituições das peças metálicas corroídas.

Nesse sentido, ainda de acordo com Gentil (2017), pode-se analisar o processo corrosivo de um material através do triângulo de corrosão, possibilitando o esclarecimento do seu mecanismo, além da identificação do material, meio corrosivo e das condições operacionais a que este material está submetido. Desse modo, tem-se que:

- Material: é o tipo de material, o qual pode estar vulnerável à corrosão, dessa forma, é levado em consideração o seu processo de obtenção, a composição química e a presença de impurezas;
- Meio corrosivo: são os fatores que contribuem para a manifestação do processo de deterioração, estes podem ser: pH, concentração, composição química, impurezas, sólidos dissolvidos e temperatura;
- Condições operacionais: são variáveis externas que podem influenciar no comportamento do material, como solicitações mecânicas, condições de imersão no meio e movimento relativo entre o material e o meio.

Dessa forma, a corrosão pode ser do tipo eletroquímica, química ou eletrolítica:

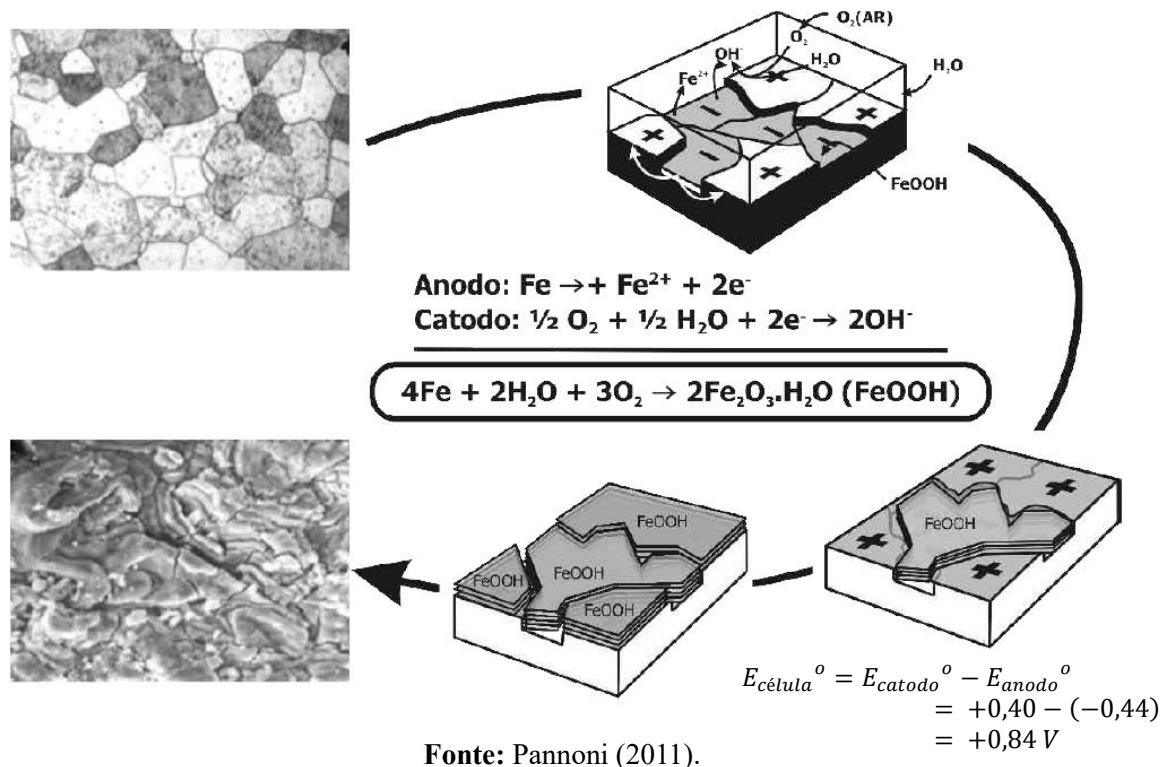
3.3.1 Corrosão Eletroquímica

A corrosão eletroquímica está relacionada à passagem de corrente elétrica em forma de íons e elétrons, a certa distância pelo material metálico. Na maioria das reações, os íons se movimentam através do eletrólito líquido, geralmente aquoso. Entretanto, quando não se tem o eletrólito líquido, o movimento dos íons se dá pela formação de uma película de óxido metálico na superfície do material, e então, passando a funcionar como eletrólito sólido, garantindo a natureza eletroquímica da reação (PANNONI, F. D., 2011)

Em suma, a corrosão eletroquímica é o processo que ocorre diferença de potencial resultante de uma heterogeneidade entre qualquer material metálico e meio corrosivo, resultando na formação de áreas catódicas e áreas anódicas (OLIVEIRA, A. R., 2012).

Como exemplo dessa forma de corrosão tem-se a aeração diferencial, em que os elétrons fluem dentro do metal e os íons fluem pelo eletrólito, e nesse sentido, o valor da diferença de potencial resultante será positivo, o que mostra que a reação é espontânea, como ilustra a Figura 10.

Figura 10: Representação esquemática simplificada do processo de corrosão por aeração diferencial do aço carbono.



3.3.2 Corrosão Química

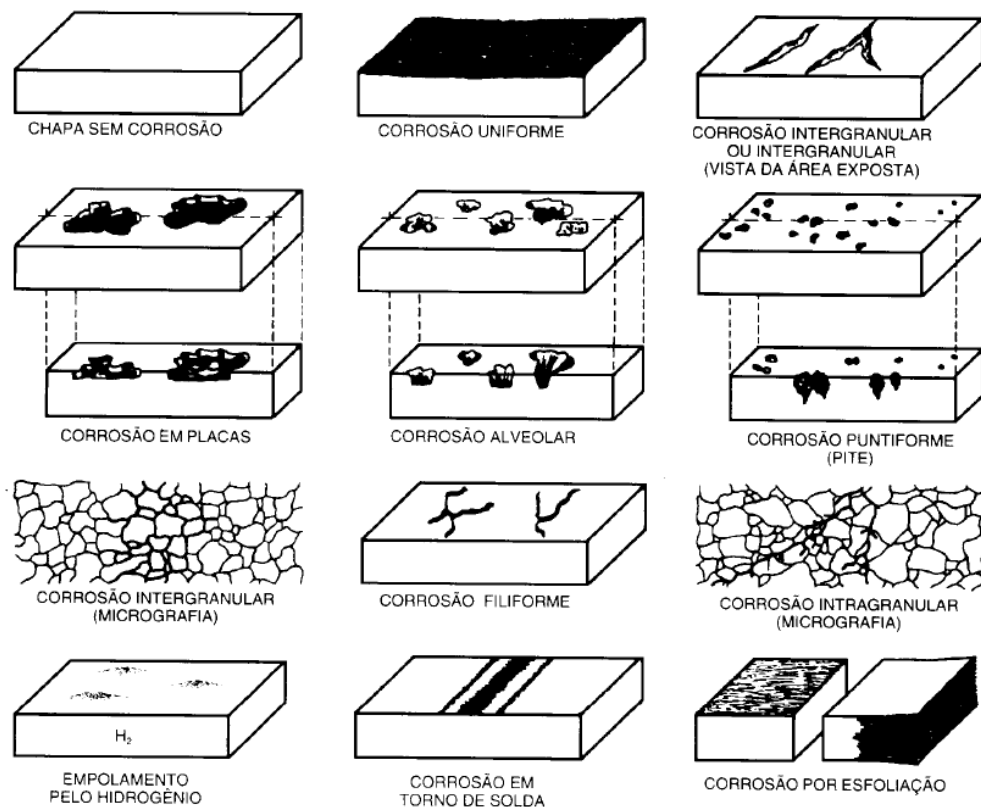
Segundo Gentil (2017), a corrosão química é “aquela em que há reações diretas entre o material metálico ou não metálico ao meio corrosivo, não havendo geração de corrente elétrica”. Esse tipo de corrosão também é conhecido por “corrosão seca” pelo fato de não ser necessário o meio eletrolítico (solução aquosa).

3.3.3 Corrosão Eletrolítica

A corrosão eletrolítica é um processo não espontâneo, o qual faz uso de uma corrente elétrica externa, sendo essas correntes conhecidas como correntes de fuga ou estranhas. Esse processo é bastante observado em tubulações enterradas de água e petróleo, cabos telefônicos e tanques de combustíveis enterrados. As correntes são oriundas de falhas de isolamento ou aterramento sem o devido controle tecnológico, o que provoca a fuga da corrente pelo solo (SILVA, B. A, 2017).

A corrosão pode ocorrer de várias formas, em que podem ser apresentadas conforme a aparência ou forma de ataque no material, sendo os tipos mais comumente encontrados: corrosão uniforme, por placas, alveolar, puntiforme ou por pite, intergranular, intragranular, filiforme, por esfoliação, grafítica, dezincificação, empolamento pelo hidrogênio e em torno do cordão de solda, tais exemplos são mostrados na Figura 11.

Figura 11: Formas de corrosão.



Fonte: Gentil (1996).

Ainda conforme Gentil (2017) pode-se entender as formas de corrosão:

- Corrosão uniforme: tal forma acomete toda superfície do material, gerando perda uniforme da espessura, essa, pode ocorrer mediante reação química ou eletroquímica;
- Corrosão por placas: acomete apenas algumas regiões da superfície, formando placas com escavações;
- Corrosão alveolar: ocorre na superfície metálica, produzindo sulcos com profundidades menores do que o seu diâmetro ou escavações com aparência de alvéolos;
- Corrosão puntiforme ou por pites: esta acomete pequenos pontos ou áreas da superfície, em que há formação de “furos” ou cavidades com profundidade maior do que o seu diâmetro;

- Corrosão intergranular: ocorre entre os grãos cristalinos do metal, quando o material se submete a tensões pode fraturar, devido à fragilidade das suas propriedades mecânicas afetadas, quando ocorre a fratura, chama-se o processo de CTF (corrosão sob tensão fraturante);
- Corrosão intragranular: acomete os grãos da estrutura cristalina, os quais fragilizam o material, mesmo quando submetidos às mínimas solicitações de esforços mecânicos;
- Corrosão filiforme: ocorre em forma de filamentos não profundos, os quais se propagam em direções diferentes e que não se ultrapassam, geralmente ocorre na superfície metálica revestida com tintas ou com metais, promovendo o deslocamento do revestimento ou quando há presença de falhas do tipo riscos ou regiões de arestas;
- Corrosão por esfoliação: acometem diferentes camadas, a característica dessa forma é a laminação paralela à superfície, em que o produto de corrosão fica entre a estrutura dos grãos alongados, promovendo então, a separação e inchamento das camadas do metal;
- Corrosão gráfitica: ocorre no ferro fundido cinzento, em temperatura ambiente, em que o material metálico se torna produto corrosivo, restando apenas a parte gráfitica;
- Corrosão por dezincificação: ocorre em ligas de cobre-zinco (latões), analisando a formação de regiões com aspecto avermelhado, contrastando com a cor amarela do latão, em que ocorre de forma preferencial a corrosão do zinco, que resulta o cobre com característica avermelhada;
- Corrosão pelo empolamento do hidrogênio: ocorre a formação de bolhas, em que o átomo de hidrogênio penetra no material metálico, difundindo-se rapidamente em regiões com descontinuidade, devido o seu volume atômico ser consideravelmente pequeno, e então, com a inclusão de vazios, este se transforma em hidrogênio molecular (H_2), exercendo pressão e formando as bolhas ou empolamentos;
- Corrosão em torno do cordão de solda: ocorre em aços inoxidáveis não estabilizados ou com teores de carbono maiores do que 0,03% e a corrosão se dá por meio intergranular, ou seja, entre os grãos.

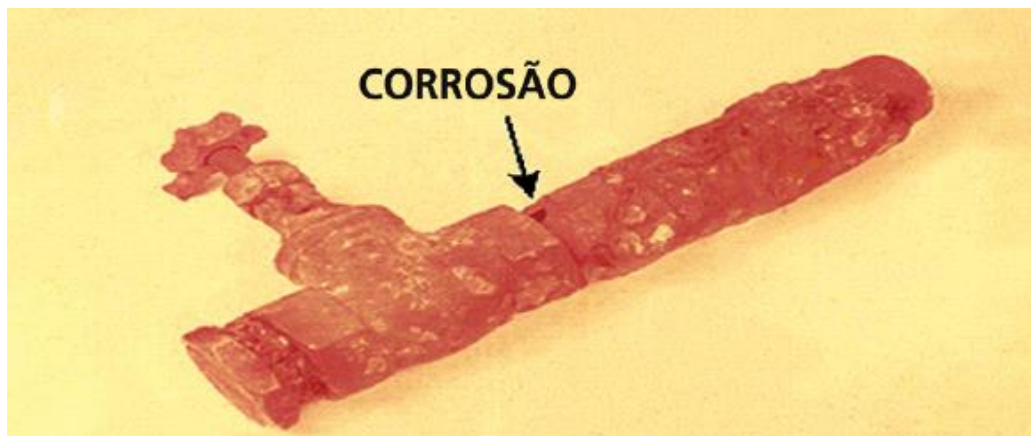
De acordo Pannoni (2011), a corrosão também pode aparecer nas formas:

- Corrosão galvânica: ocorre quando duas ligas diferentes em contato elétrico ou por um condutor são expostas a uma mesma solução condutora de eletricidade, ou seja, um eletrólito, portanto, a existência de diferença de potencial entre diferentes metais ou liga promove o potencial termodinâmico necessário para a manutenção do processo corrosivo. Esse processo também pode ser caracterizado pelo ataque em meio aquoso, em que resulta

na formação de uma pilha, promovendo um ataque localizado em um dos pares, sendo o menos nobre ou mais reativo, e o material mais inerte, ou seja, o catodo estará protegido da reação. A Figura 12 ilustra um exemplo de corrosão galvânica;

- Corrosão por frestas: ocorre nos pontos de contato entre parafusos e componentes estruturais e nos intervalos entre os pontos de solda descontínua. As frestas podem ser ocasionadas devido à ocorrência de depósitos de sujeira ou de produtos da corrosão, riscos em pintura etc. A figura 13 exemplifica a corrosão por frestas;
- Corrosão por aeração diferencial: ocorre devido à porosidade do solo, podendo existir variados teores de oxigênio. Os solos de granulometria menor, como a argila, apresentam menor teor de aeração entre as partículas, já a areia e o calcário se encontram mais aerado. A diferença de aeração pode desencadear uma pilha de aeração diferencial ou de oxigenação diferencial, em que a área anódica (a que ocorre a corrosão) é menos aerada. Desse modo, afetam as tubulações metálicas as quais são submetidas ao contato com o solo. As Figuras 14-(a) e (b), esquematizam uma tubulação parcialmente enterrada e a possibilidade de corrosão (GENTIL, 2017).

Figura 12: Corrosão galvânica em componente hidráulico de aço-carbono em contato com válvula de latão.



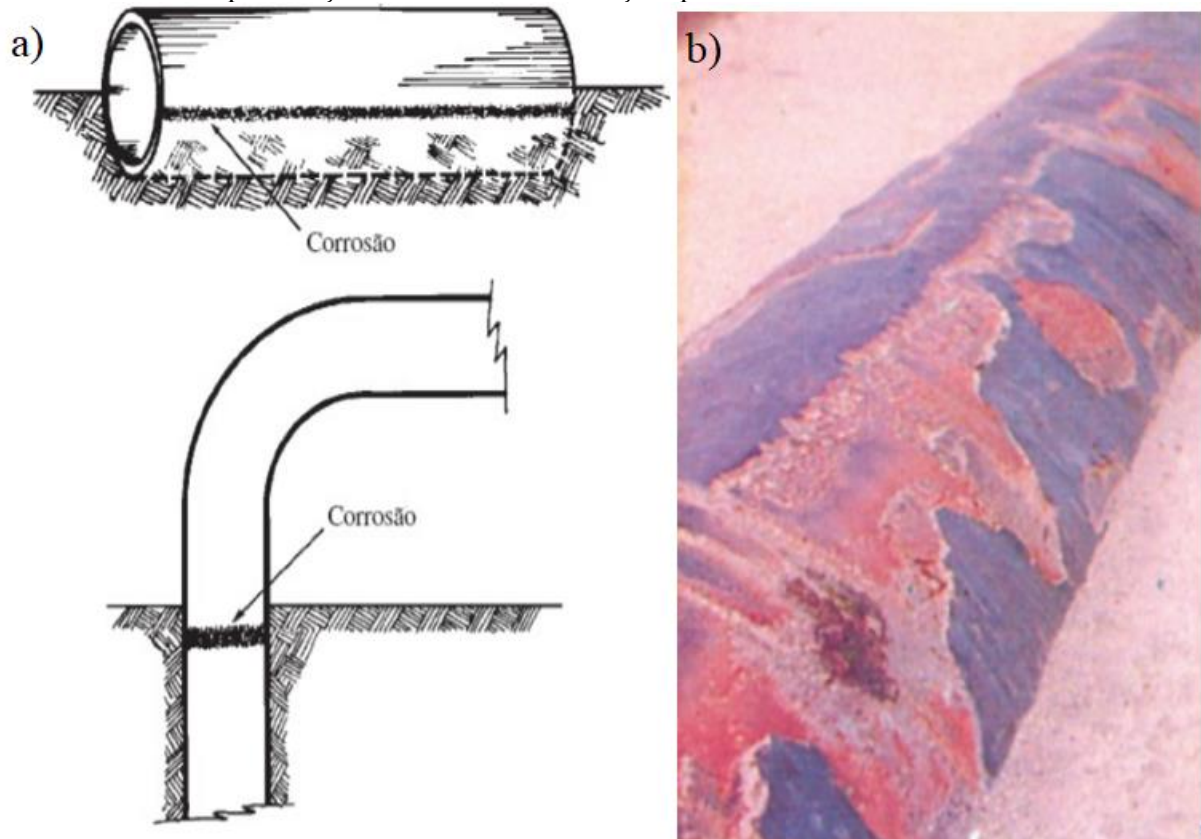
Fonte: Gentil apud Oliveira (2012).

Figura 13: Corrosão por frestas.



Fonte: Gentil (2017).

Figura 14: (a) Esboço de corrosão por aeração diferencial em tubulações semi-enterradas (b) Corrosão por aeração diferencial em tubulações parcialmente enterradas.



Fonte: Adaptado de Gentil (2017).

A ocorrência de corrosão nas tubulações do sistema de abastecimento de água é um problema comumente encontrado e que gera preocupação com os níveis de perdas ocorridas. As situações mais encontradas são vazamentos em tubulações de adutoras e rede de distribuição, além de danos os outros componentes do SAA. Tais ocorrências são decorrentes da qualidade dos materiais aplicados, instalações inadequadas, idade das ligações, falhas operacionais e fatores como a qualidade da água passante ou acumulada etc. (BEZERRA, S. T. M.; CHEUNG, P. B., 2013).

3.3.4 Medidas de controle e prevenção do processo corrosivo

De forma a aumentar a vida útil do material metálico, existem algumas medidas que podem ser adotadas para correção e prevenção da deterioração do metal pelo processo de corrosão. Desse modo, devem-se analisar as características de cada caso, pois fatores como: condições ambientais, expectativa de vida útil, custos e formas de manutenções devem ser levados em consideração desde a fase inicial do projeto do sistema a ser implementado (CASTRO, 1999).

- Tintas

Nesse viés, o método comumente mais empregado para proteção de materiais metálicos é à base de tintas orgânicas não metálicas, em que possui baixo custo e fácil aplicação. No entanto, existem opções de tintas anticorrosivas de maior qualidade de aplicação e bom custo-benefício, além de atender outras expectativas, como pintura industrial eletroforética e eletrostática (OLIVEIRA, 2012).

Ainda segundo Oliveira (2012), o processo do revestimento à base de tinta funciona como uma barreira entre o eletrólito (meio corrosivo) e o material exposto, ou seja, a tinta fornece uma camada impermeável ao meio, diminuindo a corrente de corrosão a níveis desprezíveis. No entanto, com o passar do tempo, essa película vai perdendo eficiência e pode ser vencida pelo eletrólito, dando início a corrosão.

Desse modo, esse processo pode servir como prevenção e correção, porém, deve ser realizado somente após a superfície do material estar devidamente limpa e preparada. A limpeza pode ser realizada de forma manual (lixas, escovas de aço e raspadores), mecânica (escovas rotativas, pneumáticas, elétricas) ou jateamento (jato leveiro “brush off”, jato

comercial e jato ao metal quase branco), sendo então, a forma por jateamento a mais eficaz para remoção de impurezas das superfícies (PANNONI, 2011).

Em suma, para a utilização de tintura anticorrosiva, deve-se realizar: limpeza da superfície metálica, aplicação da tinta de fundo ou primer anticorrosivo que promove aderência ao substrato (uma ou duas demãos), e por fim, a aplicação da pintura de acabamento, em que impermeabiliza a superfície do material através de camadas de películas de tinta aplicadas, além de dar cor e brilho. Ademais, vale salientar que o processo de pintura pode ser feito por imersão simples ou eletroforética, por aspersão, a trinch (pouco utilizado devido à perda da estética) e a rolo (OLIVEIRA, 2012).

Segundo Pannoni (2011), as tintas de acabamento são classificadas de acordo com o tipo de resina que é empregada, podendo ser:

Alquídicas: são tintas mono componentes de secagem ao ar e são comumente conhecidas por esmalte sintético e são utilizadas em interiores secos e abrigados ou em exteriores não poluídos. Estas são sensíveis aos meios úmidos constantes, a meios alcalinos e a imersão de água, pois são resinas saponificáveis (reagem com base).

Epoxídicas: são tintas bi componentes de secagem ao ar, em que podem ser constituídas de resina epoxídica e um agente de cura (poliamida, poliamina ou isocianato alifático). Esse tipo de tinta é mais resistente e impermeável do que a do tipo alquídica, em que apresenta boa resistência à umidade, imersão em água doce ou salgada, lubrificantes, combustíveis, etc.

Poliuretânicas: são tintas bi componentes à base de resina poliéster ou resina acrílica e agente de cura (isocianato alifático). Esse tipo de tinta é bastante resistente ao intemperismo, sendo indicada para o acabamento de materiais expostos ao meio atmosférico, ademais, são compatíveis a primers epoxídicos, com boa durabilidade e menor perda de cor e brilho originais.

Acrílicas: são tintas mono componentes formadas de solventes orgânicos ou águas, em que são bem resistentes à ação do sol e, são indicadas para acabamentos.

- Proteção catódica

Esse tipo de proteção geralmente é utilizado em tubulações enterradas, submersas e em contato com o eletrólito, o que se torna bem eficiente ao trabalhar com componentes metálicos que não podem passar por inspeções e manutenções periódicas. Além disso, é um método econômico (a longo prazo) e se torna ainda mais simples quando a estrutura metálica

é previamente revestida, em que nesse caso, irá complementar a proteção. Esse tipo de proteção pode ser dividido em proteção catódica por corrente impressa e proteção catódica galvânica (GENTIL, 2017).

A proteção catódica por corrente impressa ou forçada, segundo Gentil (2017), é um método que utiliza uma fonte externa geradora de corrente elétrica contínua, normalmente são utilizados os retificadores alimentados por corrente alternada. Para a dispersão de corrente no eletrólito, são utilizados anodos inertes que podem variar de acordo com o eletrólito. Em suma, é adicionada uma fonte externa de corrente ao material que deve ser protegido e a um anodo inerte, de forma que o metal que funciona como anodo tenha um potencial de redução mais negativo, dessa forma, com a estabilidade de corrente que flui pelo material, há a formação da película passivante, cuja protege a superfície que atua como catodo.

A proteção catódica galvânica ou por ânodos de sacrifício, apresenta praticamente o mesmo princípio de funcionamento da proteção por corrente impressa, porém, esse método se baseia na aplicação de corrente que é originada a partir da diferença de potencial entre o metal a ser protegido e o metal com função de anodo (normalmente ligas de Magnésio, Zinco ou Alumínio, pois estes possuem potencial mais negativo nas séries galvânicas), dessa forma, esse método é baseado na transferência de fluxo elétrico entre os metais envolvidos diretamente, e não requer fonte externa provedora de corrente (OLIVEIRA, 2012).

- Proteção anódica

Nesse tipo de proteção, aplica-se uma corrente anódica externa para a formação de uma película protetora na superfície metálica, em que essa corrente resulta em polarização anódica, o que possibilita a passivação do material metálico. Desse modo, essa técnica só poderá ser utilizada em metais ou ligas que no meio considerado, ocorre a transição ativo/passivo, ou seja, se passivo, como o ferro, níquel, cromo, titânio e suas ligas, caso contrário, pode ocorrer o aumento da velocidade de corrosão (GENTIL, 2017).

Ainda de acordo com Gentil (2017), esse método também é utilizado para a proteção de materiais metálicos enterrados ou semi-enterrados, porém, todas as partes da estrutura devem ser passivadas, senão pode ocorrer corrosão galvânica entre recobertas e não recobertas de óxidos, e para isso deve ser utilizado um equipamento chamado potenciostato, o qual proporciona corrente adequada para passivar o metal e deixá-lo na faixa do potencial de passivação

- Proteção inorgânica não metálica

Essa proteção se baseia em compostos inorgânicos que são aplicados diretamente na superfície do material ou formados sobre esta. Os revestimentos mais utilizados são: esmaltes vitrosos, vidros, porcelanas, óxidos, cimentos, carbetos, nitretos, boretos e silicetos. Desse modo, os principais processos utilizados nesse tipo de proteção são a anodização, a cromatização e a fosfatização (OLIVEIRA, 2012).

Anodização: é mais utilizada no alumínio, dessa forma, esse processo é caracterizado pela aderência, resistividade elétrica, resistência à corrosão e desgaste mecânico, ademais, sua aplicação é muito utilizada para combater corrosão atmosférica (GENTIL, 2017).

Cromatização: a obtenção do revestimento é à base de soluções contendo cromato ou ácido crômico, cujo objetivo é elevar a resistência à corrosão e de melhorar a aderência das tintas sobre as superfícies metálicas (alumínio e suas ligas), tal procedimento pode ser em meio básico ou ácido em temperatura ambiente e a aplicação pode ser feita por imersão ou jateamento (OLIVEIRA, 2012).

Fosfatização: consiste em películas de fosfato sobre a superfície metálica, em que são resistentes às névoas salinas e quando a superfície recebe camada de pintura, torna-se resistente a corrosão. A camada fosfatizante não possui qualidades por si só, mas a sua presença realça efeitos secundários, elevando então, a eficiência de outros meios convencionais de proteção (GENTIL, 2017).

4 METODOLOGIA

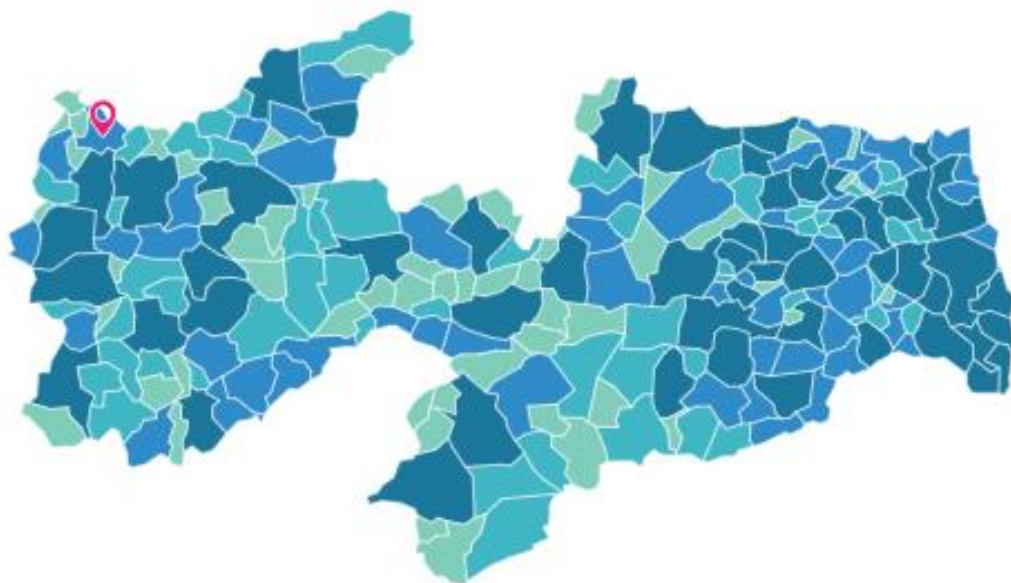
Este estudo foi realizado com base em levantamentos informativos de dados, características, revisões de literaturas, artigos e teses, além de ter sido realizado um estudo de campo para obtenção de registro fotográfico, análise do cenário encontrado e estudo temporal comparativo do ambiente.

4.1 Caracterização do cenário analisado

O estudo foi realizado no município de Uiraúna, interior do Estado da Paraíba, em que, de acordo com estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020), atualmente, possui uma população em torno de 15.300 habitantes.

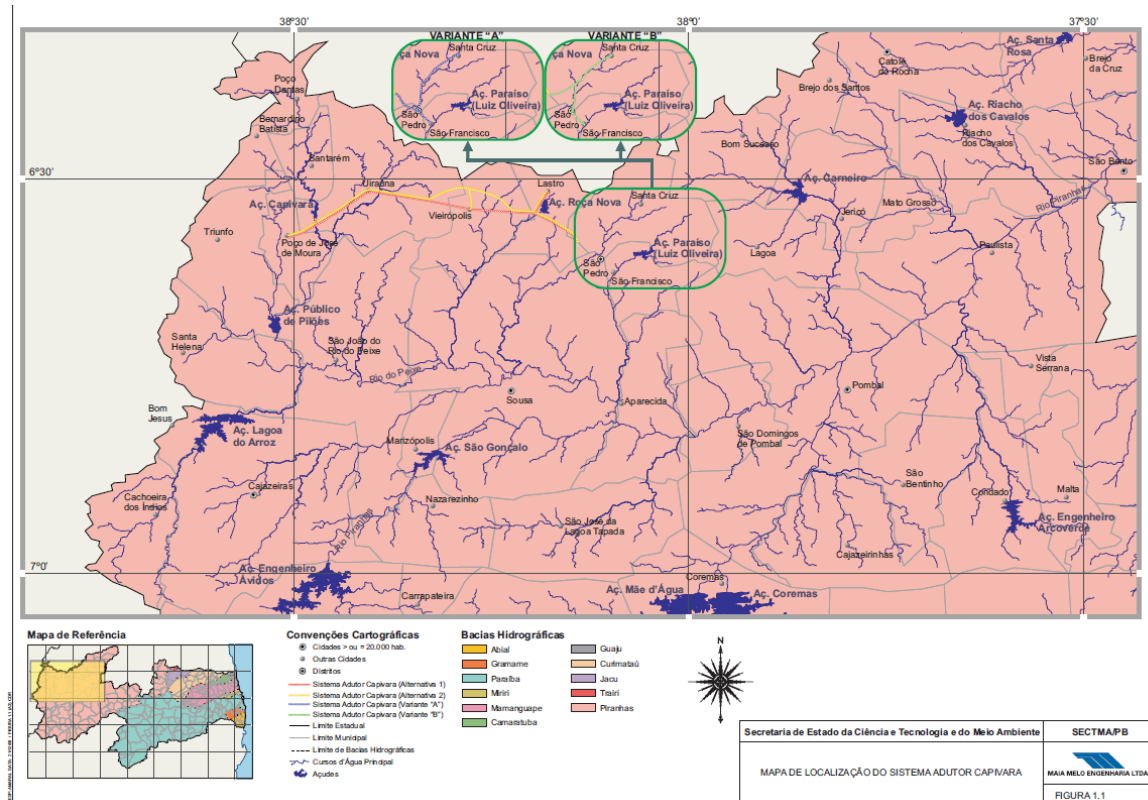
Tal análise envolve o sistema de abastecimento da cidade, tendo em vista que fica implantando no Oeste do Estado, atrelado à bacia do rio Piranhas, sub-bacia do Rio do Peixe, cujo recebeu o nome de adutora Capivara. Dessa forma, esse sistema tem o intuito de fornecer água para as necessidades humanas no município de Uiraúna e algumas cidades circunvizinhas, como, Poço de José de Moura, Vieirópolis, Lastro, São Francisco, Santa Cruz, distrito de São Pedro e também, 16 chafarizes distribuídos nos entornos, sendo representados na Figura 15 e 16 (PARAÍBA, 2006).

Figura 15: Localização do município de Uiraúna no Estado da Paraíba.



Fonte: IBGE (2021).

Figura 16: Mapa representativo da localização do sistema distribuidor Capivara.

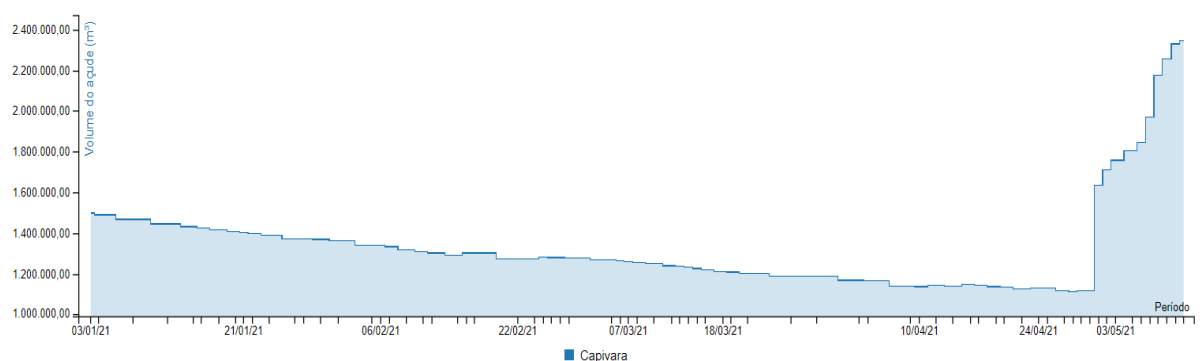


Fonte: Paraíba (2006).

Esse sistema conta com a capacidade de 37.549.827 m³ de água e volume de 2.344.819 m³, cujo volume corresponde ao mês de Maio de 2021, em que, comparando com os volumes dos meses anteriores, tal quantidade foi mais elevada devido ao período de chuva na localidade, conforme o Gráfico 1. Os dados foram extraídos da plataforma digital da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA.

Gráfico 1: Volume do açude Capivara entre os meses 01 e 05/2021.

VOLUME DO AÇUDE CAPIVARA



Fonte: Aesa (2021).

Dessa maneira, a Figura 17 ilustra o manancial hídrico estudado.

Figura 17: Açude Capivara.



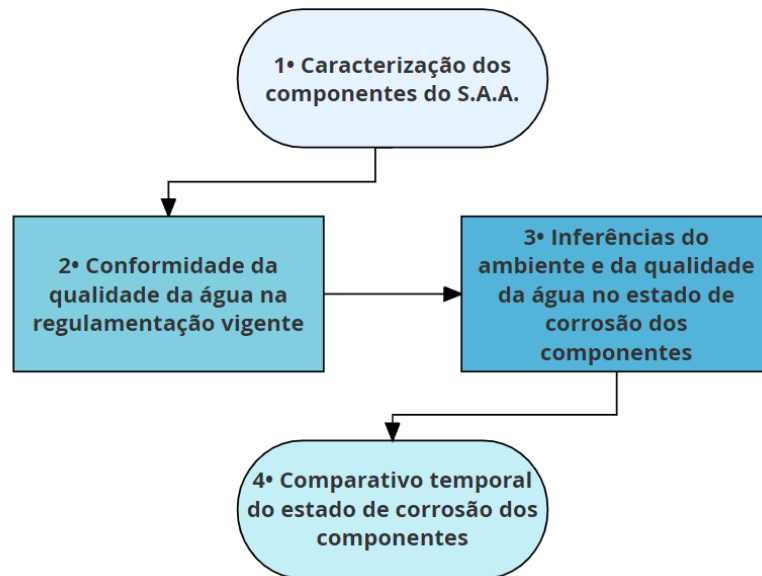
Fonte: Autora (2021).

Em detrimento do cenário de escassez de água bruta, devido a poucos períodos chuvosos na região, promoveu-se a distribuição do recurso hídrico da Capivara para as localidades citadas, portanto, para assegurar o abastecimento desses municípios/distritos, houve a implementação do sistema distribuidor em direção a cada dependência, fazendo uso de quilômetros de tubulação, além de outros acessórios utilizados para promover o suprimento hídrico aos consumidores.

4.2 Procedimentos metodológicos

Visando atender os padrões regulamentados para a qualidade da água potável distribuída, torna-se necessário realizar avaliações sobre os parâmetros da água, bem como, da estrutura do sistema de abastecimento, em busca de verificar as condições em que esses se encontram, além de propor minimização e/ou correções de problemas relacionados à corrosão dos componentes do SAA e seus acessórios. Para tanto, as etapas ilustradas na Figura 18 irão contemplar os métodos a serem desenvolvidos nesse estudo.

Figura 18: Fluxograma de orientação metodológica.



Fonte: Autora (2021).

4.2.1 ETAPA 1: Caracterização dos componentes do SAA

O Sistema de Abastecimento de Água do município de Uiraúna é alimentado mediante a barragem Capivara, com destinação à estação de tratamento da água, para posteriormente passar pela etapa de bombeamento e abastecimento dos chafarizes e reservatórios de distribuição das cidades, bem como distritos dependentes (PARAÍBA, 2006). As definições destes componentes são tratadas nas Figuras de 1 a 7. Dessa forma, essa etapa consiste em caracterizar esses elementos para que haja melhor compreensão dos processos ocorridos.

4.2.2 ETAPA 2: Conformidade da qualidade da água na regulamentação vigente

Essa etapa consistiu na obtenção dos dados referentes à caracterização dos parâmetros da qualidade da água distribuída para os consumidores do município de Uiraúna/PB e as demais localidades circunvizinhas que também são contempladas com o abastecimento, os quais foram disponibilizados mediante ofício de solicitação à CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, que realiza análises laboratoriais de forma rotineira para mensurar e verificar os parâmetros da qualidade da água, sendo estes: pH, cor, turbidez e cloro residual. Dessa forma, foram fornecidos os quantitativos dos parâmetros relacionados ao período de janeiro de 2019 a maio de 2021, de forma a permitir uma análise comparativa entre o período de 2019 e 2021, como mostra o Quadro 1.

Mediante a disponibilização dos respectivos dados: pH, cor, turbidez, cloro residual e coliformes totais, torna-se possível verificar a conformidade dos parâmetros com relação à portaria de controle e vigilância da qualidade da água e de sua potabilidade. Com a concepção dessa relação, torna-se possível inferir possíveis problemas ocorridos durante o processo de distribuição da água.

4.2.3 ETAPA 3: Inferências do ambiente e da qualidade da água no estado de corrosão dos componentes

Essa etapa foi destinada para realização do registro fotográfico de alguns componentes hidráulicos do SAA, bem como a verificação e análise de existência de relação ao estado de corrosão com a qualidade da água distribuída. Nesse sentido, é realizada uma análise a partir do triângulo da corrosão, o que permite uma melhor identificação do meio e os possíveis fatores que promovem o efeito corrosivo nos componentes do SAA.

Dessa forma, esse trabalho apresenta discussões no âmbito de possíveis inferências sobre o processo corrosivo nas instalações hidráulicas que são destinadas a levar a água potável para consumo humano, além de indicar os processos que inibem a corrosão desses componentes, com o intuito de fornecer maior segurança para com a saúde da população consumidora.

4.2.4 ETAPA 4: Comparativo temporal do estado de corrosão dos componentes

A quarta e última etapa consistiu em proceder com um comparativo temporal das condições dos componentes hidráulicos, mediante registros do período de 2019 e 2021, uma vez que, estes estão sujeitos a processos de intempéries, quando expostos à atmosfera, e então, acarretando no surgimento de patologias. Dessa maneira, é levado em consideração o tipo de material empregado nas instalações, pois, mediante a forma de contato com o meio pode ocasionar redução da sua eficiência e vida útil.

Nesse contexto, foi realizado um estudo de campo, no qual foi possível obter registros fotográficos do estado dos equipamentos que fazem parte do sistema de distribuição, bem como de alguns componentes que compõe o sistema de abastecimento de modo geral. Em consonância com esse processo, foi realizado um levantamento bibliográfico com o auxílio de literaturas sobre a temática e então, conhecendo as formas de corrosão presentes, pôde-se inferir quais as possíveis medidas cabíveis para controlar ou prevenir o processo de corrosão dos componentes metálicos.

Em suma, esse estágio da pesquisa discorre sobre os potenciais problemas corrosivos do sistema distribuidor Capivara, bem como, busca identificar como se dá esse processo e qual a relação/impactos para com a qualidade da água fornecida.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

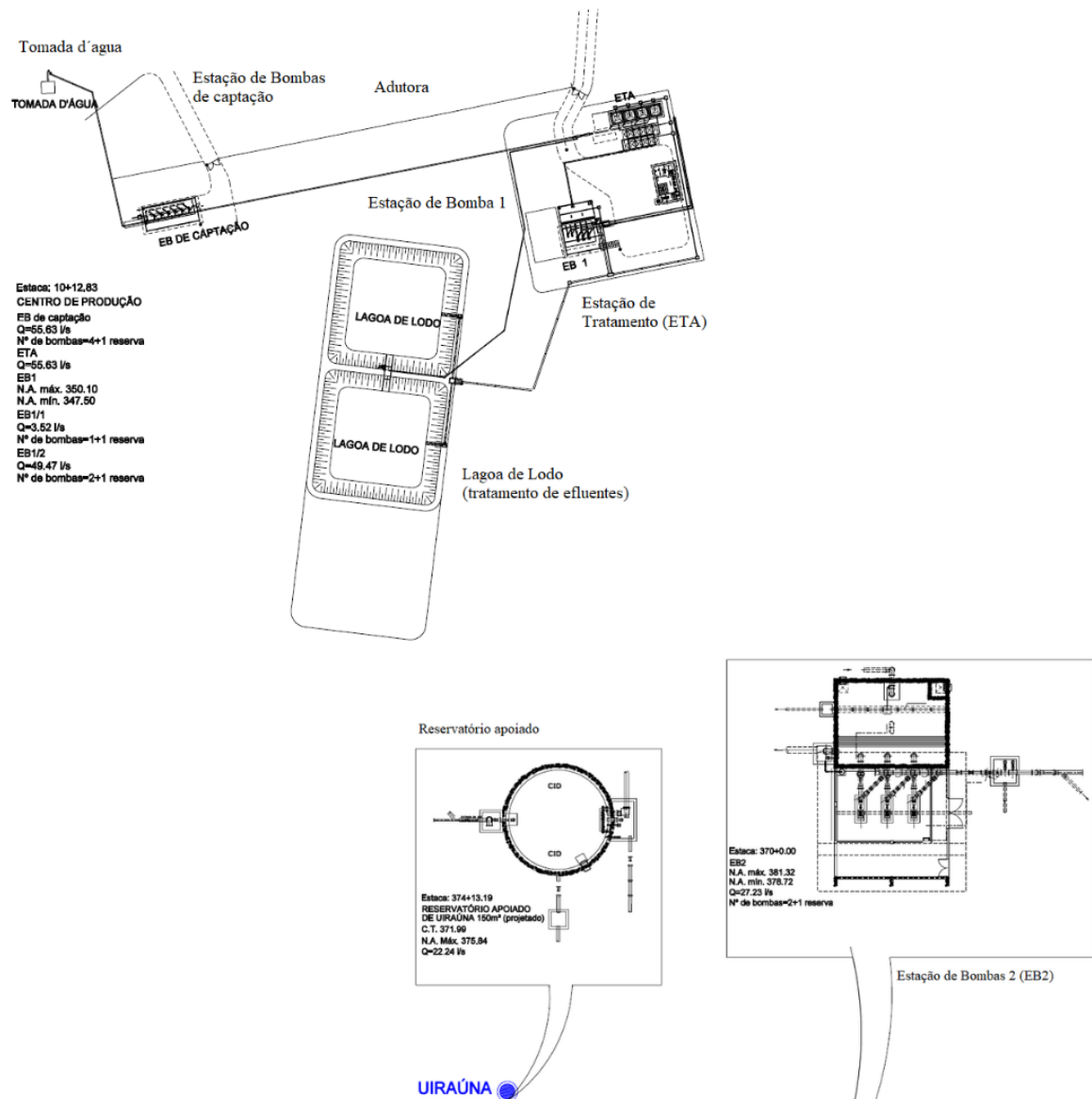
5.1 Caracterização dos componentes

Segundo Paraíba (2006), os componentes do sistema de abastecimento em estudo e suas características de projeto são:

- ✓ Manancial: o açude Capivara é o provedor do recurso hídrico;
- ✓ Captação superficial: é o transporte da água do manancial através do bombeamento, esse procedimento mecânico é acionado quando for atingido o nível mínimo de água no açude;
- ✓ Adutora de água bruta ou Tomada de água: é o conjunto de tubulações, as quais através de bombas hidráulicas, locadas na EB (Estação de bombas) promovem o deslocamento da água do manancial até a ETA, por recalque;
- ✓ Estação de tratamento: do tipo convencional, pré-fabricada, com mistura rápida, floculadores mecanizados, decantador tubular e filtros rápidos autolaváveis;
- ✓ Sistema adutor de recalque/gravidade: trata-se de um sistema em que deve funcionar tanto por gravidade quanto por recalque, a definição é baseada de acordo com a topografia do local e também da disponibilidade volumétrica de água no manancial;
- ✓ Reservatórios: do tipo elevado e apoiado, esses recebem água da ETA e, posteriormente, realizam a distribuição ou reserva para emergências;
- ✓ Rede de distribuição: é o sistema hidráulico de tubulação, em que faz a ramificação e distribuição do recurso hídrico até as unidades consumidoras.

Realizado o enquadramento do reconhecimento do corpo hídrico, tem-se que a classe do manancial é do tipo II – água doce. A Figura 19 ilustra um arranjo parcial do sistema, desde a captação de água bruta até a estação de tratamento e reservação.

Figura 19: Arranjo parcial do sistema responsável pelo abastecimento de Uiraúna - PB.



Fonte: Adaptado de Paraíba (2006).

5.2 Comparativo da qualidade da água fornecida com o padrão normativo

A água fornecida pela Companhia para o consumo humano deve estar adequada de acordo com os parâmetros de qualidade para esse fim, porém, nem sempre ela é recebida nas mesmas condições ideais de quando saem da ETA. Dessa forma, este trabalho retrata o cenário comparativo desses parâmetros referentes ao período de 2019 até o início de 2021, o que contribui a induzir possíveis interferências no estado da qualidade da água que é distribuída para os pontos de consumo.

Mediante disponibilidade de dados de qualidade da água do Sistema de Abastecimento de Água Capivara, fornecidos pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba – CAGEPA pode-se fazer tal comparativo com os valores estabelecidos na Portaria GM/MS N° 888, de 04 de Maio de 2021 sobre a qualidade da água que é distribuída para as residências e demais pontos de consumo de Uiraúna/PB e regiões circunvizinhas. Tais parâmetros disponibilizados pela própria Companhia de água para serem analisados foram: pH, cor, turbidez e cloro residual (as definições encontram-se nas páginas 27-28), como mostrados no Quadro 1.

Quadro 1: Dados da qualidade da água distribuída durante os meses 01/2019 – 05/2021.

CAGEPA - REGIONAL RIO DO PEIXE				
PADRÕES DA PORTARIA GM/MS 5/2017, Anexo XX.	PARÂMETROS			
	6,0 a 9,5	≤ 15,0 uH	≤ 5,0 uT	Min. 0,2 mg/L
ETA UIRAÚNA	pH	COR	TURBIDEZ	COLOR RESIDUAL
	VALOR ENCONTRADO	VALOR ENCONTRADO	VALOR ENCONTRADO	VALOR ENCONTRADO
jan/19	6,8	11,8	0,95	1,5
fev/19	6,92	12,9	1,12	1,3
mar/19	6,87	10,6	0,9	1,2
abr/19	7,05	7	1,78	0,9
mai/19	7,13	6,3	1,71	0,8
jun/19	6,8	35,3	4,6	1
jul/19	6,7	26,4	3,9	1
ago/19	6,95	13,6	3,3	1
set/19	7,2	5	2,21	1
out/19	7,1	5	2,2	1
nov/19	6,92	10,6	3,33	1
dez/19	6,95	21	3,4	1
jan/20	7,1	31,9	5,8	1
fev/20	Sem água na rede de abastecimento			
mar/20	Sem água na rede de abastecimento			
abr/20	6,8	9,4	1,71	1,3
mai/20	6,8	14,1	1,9	1,1
jun/20	6,9	14,4	1,8	1,1
jul/20	6,8	14,3	1,7	1,2
ago/20	6,6	12	1,8	1,2
set/20	6,8	5,83	1,7	1,1
out/20	6,9	5,85	1,69	1,5
nov/20	6,9	6,1	1,64	1,5
dez/20	6,9	7,6	1,71	1,5
jan/21	6,8	7,5	1,8	1,4
fev/21	6,8	7,5	1,8	1,4
mar/21	7,1	19	2,9	1,1
abr/21	7,14	13,7	2,98	0,6
mai/21	7	14,4	2,9	1,08

Fonte: Adaptado de CAGEPA (2021).

Tendo em vista esses valores da qualidade da água distribuída, ou seja, os parâmetros da água que sai diretamente da estação de tratamento para as redes prediais dos consumidores, podem-se fazer um comparativo com a regulamentação vigente, que estabelece os valores padrão para a finalidade do consumo humano. Neste âmbito, podem-se fazer as seguintes comparações:

5.2.1 pH

Para o valor de pH, tem-se que de acordo com a Portaria GM/MS N° 888, de 04 de Maio de 2021, os valores admissíveis são de 6,0 a 9,0. Dessa maneira, os valores encontrados na planilha fornecida pela CAGEPA foram de no mínimo 6,60 (referente ao mês de agosto de 2020) e no máximo 7,20 (referente ao mês de setembro de 2019). Com base nisso, os valores de pH encontram-se próximos do meio neutro e atendem ao parâmetro solicitado pela regulamentação.

5.2.2 Cor

Para o valor de cor, de acordo com a portaria regulamentadora vigente, são admitidos valores menores ou igual a 15 uC ou 15 uH (unidade de Cor ou unidade de Hazen). Contudo, foram encontrados valores bem variados na análise dos dados fornecidos de cor, em que se podem destacar os que ultrapassam a margem permitida: 35,3 uH (referente ao mês de junho de 2019), 26,4 uH (referente a julho de 2019), 21,0 uH (referente a dezembro de 2019), 31,9 uH (referente a janeiro de 2020) e 19,0 uH (referente a março de 2021). O menor valor encontrado foi de 5,0 uH (correspondendo aos meses de setembro e outubro de 2019) e que está de acordo com a legislação vigente. Pelo aumento da coloração, é possível que haja influencia no parâmetro de cor, o que não condiz com o parâmetro exigido pela legislação, sendo esta oriunda do produto corrosivo, além de também poder sofrer influência de períodos com baixos volumes de água, o que acarretaria em “água barrenta” na tubulação.

5.2.3 Turbidez

O valor de turbidez permitido pela portaria regulamentadora vigente é aquele que é menor ou igual a 5 uT (unidade de Turbidez). Nesse sentido, analisando os dados fornecidos pela

Companhia de Água e Esgoto da Paraíba, tem-se que os valores são bastante variados, e o maior valor de turbidez encontrado, ultrapassa o valor permitido pela regulamentação, sendo este 5,80 uT (referente ao mês de janeiro de 2020) e o valor mínimo encontrado foi 0,90 uT (referente ao mês de março de 2019), porém, está dentro dos padrões normativos. Desse modo, com essa variação de turbidez, pode-se inferir que houve interferência dos subprodutos do processo da corrosão, bem como de outros fatores, como a escassez hídrica no manancial, o que permitiu resíduos pigmentados de barro, pois, em níveis mínimos, deve-se atentar para que não haja distribuição de água de forma que, mesmo passando por tratamento, esta pode não se encontrar na forma adequada para consumo humano.

5.2.4 Cloro residual

Para o valor de cloro residual, de acordo com a Portaria GM/MS N° 888, de 04 de Maio de 2021, o valor mínimo é de 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) e o VMP (valor máximo permitido) é 5,0 mg/L. Todavia, foram observados valores diversos e, o valor mínimo encontrado foi de 0,6 mg/L (referente ao mês de abril de 2021) e o valor máximo foi 1,50 mg/L (referente aos meses de janeiro de 2019, outubro, novembro e dezembro de 2020), dessa forma, todos os valores de cloro residual estão dentro do padrão regido pela regulamentação.

5.3 Contraste da qualidade da água distribuída e recebida pelos consumidores

Partindo dos dados da qualidade da água expostos neste trabalho, os quais foram fornecidos pela concessionária atuante, estes se remetem aos parâmetros após o processo de tratamento da água, ou seja, quando está prestes a ser distribuída. No entanto, pelo fato de percorrer quilômetros de distância para chegar até os pontos consumidores, podem passar por algumas variações qualitativas. Desse modo, pode-se dizer que: nem toda água que é distribuída é recebida nas mesmas condições.

Nesse sentido, em consonância com o trabalho do autor Araújo Júnior (2019), tem-se os dados dos Quadros 2, 3 e 4, os quais foram obtidos a partir de amostras de água retiradas de alguns bairros da cidade de Uiraúna/PB, sendo estes bairros: Centro, Casinhas e Garrafão, além do Reservatório de distribuição e o próprio manancial (Capivara). Tal estudo foi

realizado no ano de 2019, compreendendo os dias 13, 15 e 16/02/2019 e o instrumento utilizando foi um Medidor Multiparâmetros HORIBA U-50.

Quadro 2: Dados da qualidade da água recebida nos pontos de consumo no dia 13/02/2019.

Data: 13/02/2019	Horário: 16:00	Cidade: UIRAÚNA-PB			
Parâmetros	Centro	Casinhas	Gafarrão	Reservatório	Barragem Capivara
Temperatura (°C)	28,53	27,94	28,03	28,52	28,24
pH	5,05	5,54	5,42	4,92	5,6
Potencial de oxidação-redução (mV)	387	395	403	385	405
Condutividade (mS/cm)	0,301	0,315	0,294	0,287	0,292
Turbidez (NTU)	5,6	3,2	2,7	3,2	12,9
Oxigênio dissolvido (mg/L)	7,9	6,71	6,89	9,74	7,76
Oxigênio dissolvido (%)	102,8	86,5	89	123,7	100,5
Total de sólidos dissolvidos (g/L)	0,196	0,194	0,18	0,221	0,206
Salinidade (PPT%)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01

Fonte: Araújo Junior (2019).

Quadro 3: Dados da qualidade da água recebida nos pontos de consumo no dia 15/02/2019.

Data: 15/02/2019	Horário: 16:00	Cidade: UIRAÚNA-PB			
Parâmetros	Centro	Casinhas	Gafarrão	Reservatório	Barragem Capivara
Temperatura (°C)	28,72	28,69	28,76	29,01	28,81
pH	5,46	5,26	5,11	4,78	5,51
Potencial de oxidação-redução (mV)	390	399	394	379	398
Condutividade (mS/cm)	0,297	0,321	0,292	0,289	0,281
Turbidez (NTU)	4,5	4,9	5,6	3,8	11,3
Oxigênio dissolvido (mg/L)	7,37	7,43	7,35	8,89	6,14
Oxigênio dissolvido (%)	96,1	96,9	96,1	116,5	80,1
Total de sólidos dissolvidos (g/L)	0,203	0,219	0,199	0,198	0,192
Salinidade (PPT%)	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01

Fonte: Araújo Junior (2019).

Quadro 4: Dados da qualidade da água recebida nos pontos de consumo no dia 16/02/2019.

Data: 16/02/2019	Horário: 16:00	Cidade: UIRAÚNA-PB			
Parâmetros	Centro	Casinhas	Gafarrão	Reservatório	Barragem Capivara
Temperatura (°C)	28,61	28,89	28,35	28,87	29,45
pH	4,54	4,41	4,7	3,88	4,36
Potencial de oxidação-redução (mV)	460	464	458	458	469
Condutividade (mS/cm)	0,298	0,314	0,338	0,389	0,31
Turbidez (NTU)	5,3	3	2,5	0,9	9,8
Oxigênio dissolvido (mg/L)	5,86	6,16	5,54	7,43	7,18
Oxigênio dissolvido (%)	76,3	80,6	72,4	97,1	94,7
Total de sólidos dissolvidos (g/L)	0,203	0,212	0,227	0,293	0,21
Salinidade (PPT%)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01

Fonte: Araújo Junior (2019).

De acordo com os dados acima apresentados, faz-se uso dos parâmetros de pH e Turbidez para realização da comparação dos dados do autor citado com os dados fornecidos pela Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), pois, são dados em comum e de grande importância para o estudo.

✓ Comparação do pH

Nesse sentido, realizando a comparação do pH, tem-se que, o valor médio da água em que foi distribuída para os usuários no mês de fevereiro de 2019 (mês da retirada da amostra) foi 6,92. No entanto, os valores médios analisados na pesquisa do autor Araújo Júnior (2019) foram: Dia 13/02/2019: 5,30; Dia 15/02/2019: 5,22 e Dia 16/02/2019: 4,38 incluindo o reservatório e o açude Capivara, porém, considerando apenas os três bairros (Centro, Casinhas e Garrafão), têm-se os valores médios dos três dias: Bairro Centro: 5,02; Bairro Casinhas: 5,07 e o Bairro Garrafão: 5,07. No entanto, os menores valores diários encontrados foram: 4,41 (Casinhas); 4,54 (Centro) e 4,70 (Garrafão) referentes ao dia 16/02/2019.

Dessa maneira, é evidente a disparidade de divergência entre esses valores. Levando em consideração que o valor admissível de pH seja entre 6,0 e 9,0, tais valores não estão

adequados para o consumo humano, uma vez que, esses valores são considerados agressivos devido estarem na faixa de meio ácido e acarretam em uma maior taxa de corrosão da tubulação metálica da rede de distribuição da água. Desse modo, a corrosão interna ou externa da tubulação é um dos fatores que mais contribuem para o surgimento de falhas hidráulicas na rede do SAA e interferências na qualidade da água.

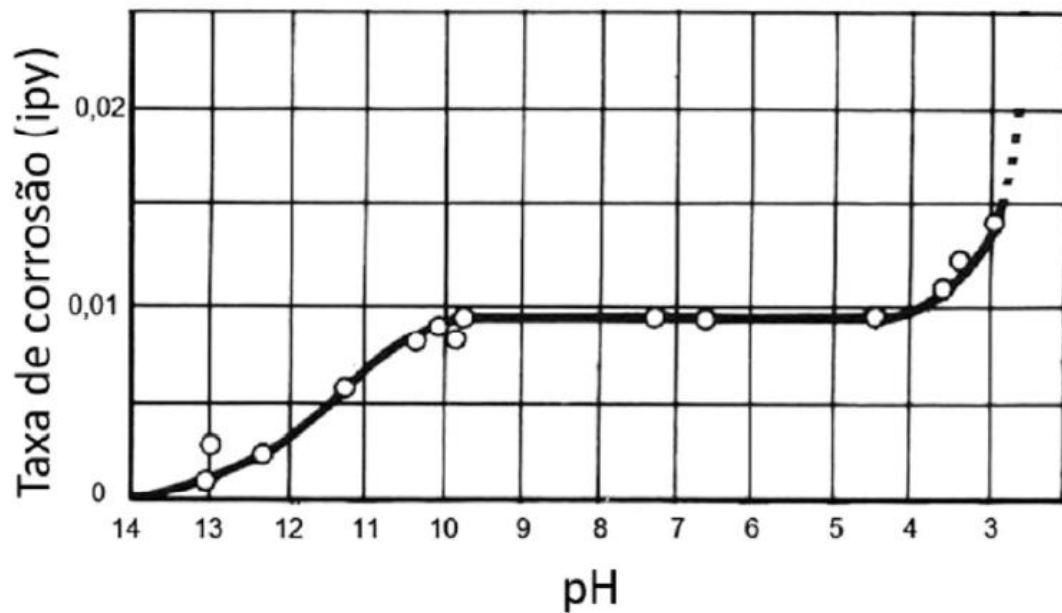
Em consonância com Sousa Filho (2019), valores de pH menores do que 4,5 são bastante agressivos, tendo então uma maior taxa de corrosão no material, mas a taxa de corrosão do ferro é mantida constante nas faixas de pH de 4,5 a 10,0 como é ilustrado na Figura 20, então, não é muito eficaz manter o valor de pH acima de 8,0 para evitar a corrosão da rede de distribuição do SAA, pois, nessa faixa de valor ocorre a chamada passivação do metal, além disso, pH acima de 9,0 não é considerado adequado para consumo humano, visto que faixa adequada seria entre 6,0 e 9,0.

De acordo com Perez (2011), a partir do século XX, em que houve maior difusão sobre a temática dos fenômenos cinéticos e equilíbrio químico, percebeu-se a relação entre o pH e o residual de ferro na água distribuída, de forma que, com a diminuição do valor do pH, mais agressiva se torna a água e, conseqüentemente, desencadeia o processo de corrosão nas tubulações do sistema hidráulico e, valores em que o pH é alcalino pode ser propício a gerar incrustações nas tubulações.

A corrosão de materiais metálicos dos componentes hidráulicos de um SAA pode resultar em problemas em níveis operacionais, econômicos e de saúde para a população consumida. Como exemplo no caso da saúde, o produto da corrosão pode levar a formação de subprodutos que podem ser dissolvidos ou permanecer em suspensão, o que pode alterar a qualidade da água distribuída e modificar suas propriedades (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

À vista disso, como medida de controle para as falhas hidráulicas das tubulações de distribuição de água, pode-se realizar a manutenção do equilíbrio de pH nos tubos metálicos. Para manter o equilíbrio do pH e evitar o processo corrosivo, a Fundação Nacional de Saúde - FUNASA (2014) estabelece a implementação do processo de alcalinização, ou seja, tornar a água básica por meio da adição de cal hidratada $[Ca(OH)_2]$, para que então possa ser removido o gás carbônico livre e para estimular a formação de uma película protetora de carbonato na superfície interna das tubulações metálicas, a fim de evitar o processo corrosivo.

Figura 20: Taxa de corrosão x pH.



Fonte: Gentil (2011).

✓ Comparação da Turbidez

Levando em consideração os valores padrões estabelecidos pela regulamentação vigente para a turbidez devem ser menores ou iguais a 5,0 uT, então, realizando a comparação da turbidez, tem-se que o valor médio da água em que foi distribuída para os usuários no mês de fevereiro de 2019 (mês da retirada da amostra) foi 1,12 uT. No entanto, os valores médios analisados na pesquisa do autor Araújo Júnior (2019) foram: Dia 13/02/2019: 5,52 uT; Dia 15/02/2019: 6,02 uT e Dia 16/02/2019: 4,30 uT incluindo o reservatório e o açude Capivara, porém, considerando apenas os três bairros (Centro, Casinhas e Garrafão), têm-se os valores médios dos três dias: Bairro Centro: 5,13 uT; Bairro Casinhas: 3,70 uT e o Bairro Garrafão: 3,60 uT. No entanto, os valores diários que ultrapassam o permitido pela regulamentação foram: 5,60 uT (Centro – dia 13/02/2019); 5,60 uT (Garrafão – dia 15/02/2019) e 5,30 uT (Centro – dia 16/02/2019).

Ademais, vale salientar que os maiores valores de turbidez encontrados, os quais extrapolam o valor permitido, são referentes às amostras da Barragem Capivara: 12,9 uT (dia 13/02/2019); 11,30 uT (dia 15/02/2019) e 9,80 uT (dia 16/02/2019), porém, sendo este o manancial que abastece a rede de distribuição, tal valor corresponde à água bruta, ou seja, ainda não tratada. Além disso, abordando os menores valores, os quais se referem praticamente às amostras do reservatório, se justifica pelo fato de ser uma água que saiu da

estação de tratamento (ETA) e foi diretamente para o armazenamento, que é o referido reservatório.

Correlacionando o valor médio do mês de fevereiro fornecido pela CAGEPA e os valores médios encontrados a partir do ensaio das amostras, estes são distintos, porém, alguns estão dentro da faixa permitida (os menores do que 5,0 uT) e os demais que são superiores a 5,0 uT não estão adequados para a finalidade proposta.

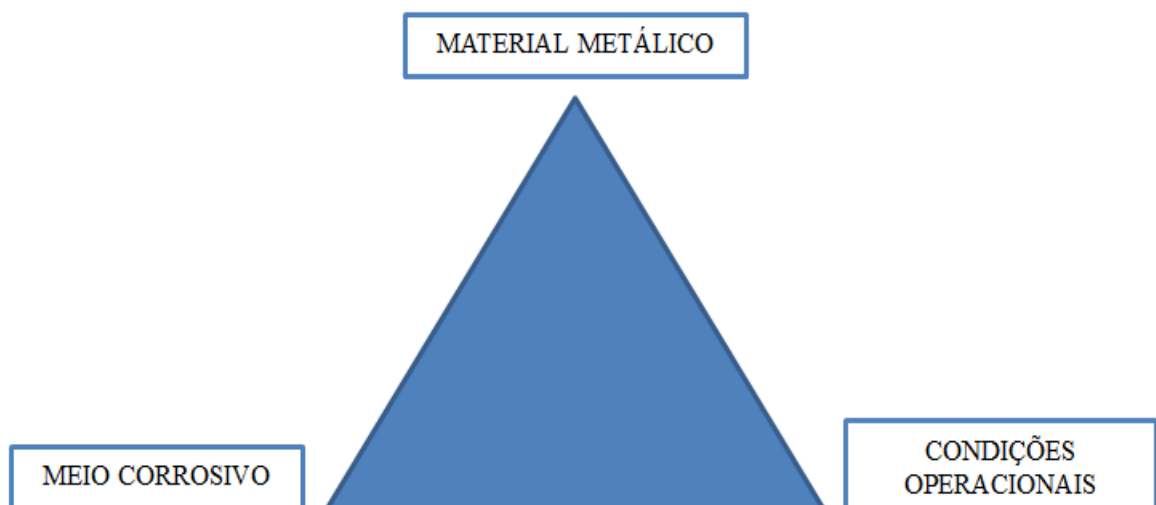
5.4 Inferências da influência do ambiente no estado de corrosão dos componentes hidráulicos do SAA

De acordo com o estudo de campo realizado, o qual permitiu a obtenção de registros fotográficos, pode-se discorrer sobre as manifestações corrosivas no ambiente, bem como induzir as possíveis origens desses efeitos.

Durante a inspeção nos locais, o ambiente se apresentou com algumas ocorrências de corrosão, estas devido aos principais fatores predominantes como: exposição à umidade, partes das tubulações semienterradas no solo, intempéries, faltas de manutenções, etc.

Diante disso, pode-se realizar o reconhecimento a partir do triângulo da corrosão no ambiente estudado, baseado na Figura 21, em que se pode analisar o material metálico, o ambiente corrosivo e as condições operacionais em que o material está exposto. Sendo assim, para o sistema estudado foram feitas as seguintes observações:

Figura 21: Triângulo da corrosão.



Fonte: Autora (2021).

- **Meio corrosivo:** o meio que interfere o material metálico são a atmosfera, a umidade, a água que passa pelas tubulações e solo em que se encontra (seja enterrado, semi-enterrado);
- **Material metálico:** o material das tubulações da rede de distribuição de água é de ferro fundido, mas existem outros acessórios que também fazem papel de componentes hidráulicos metálicos (solda, rebites, parafusos, etc.);
- **Condições operacionais:** as tubulações e peças são submetidas a esforço mecânico, baixos valores de pH, temperatura e falta de manutenção.

Desse modo, a influência dessas variáveis para as os componentes hidráulicos do sistema de abastecimento de água (SAA) são de grande importância, pois, são fatores determinantes para o bom funcionamento das instalações.

5.5 Comparativo temporal do estado de corrosão dos componentes hidráulicos

Mediante registros fotográficos realizados no estudo de campo, foram encontrados casos de deterioração pela corrosão, tais quais serão mais detalhados nos próximos tópicos. Dessa forma, vale salientar que o processo comparativo das duas pesquisas será realizado com registros dos mesmos equipamentos nas mesmas localidades, bem como de elementos com a mesma funcionalidade/similaridade, porém, localizados em outros pontos do sistema adutor, pois, por inviabilidade, não foi possível fazer o registro de todos os componentes nas mesmas localidades da pesquisa do autor comparativo.

Nesse sentido, pode-se realizar uma comparação temporal sobre os componentes do estudo de campo deste trabalho, bem como do trabalho do autor Araújo Júnior (2019), permitindo então, verificar o estado dos componentes durante o período de 2019 e 2021, além de propor métodos de prevenção/proteção para esses elementos, visando maior segurança para com a saúde da população consumidora, além de um melhor funcionamento das instalações, evitando danos e desperdícios.

5.5.1 Tubulação

Tendo em vista a utilização do ferro fundido como material das tubulações de distribuição de água potável, como mostram as Figuras 23 e 24, pode-se fazer o comparativo entre os períodos mencionados (fevereiro de 2019 e maio de 2021) através desta pesquisa e também do estudo de campo realizado por outro autor, em que, no caso das tubulações, este

trabalho expõe registro de equipamentos similares, porém, com a mesma função, mudando apenas a localização desses, pois, devido fatores externos não foi possível fazer o registro na mesma localidade das tubulações do autor comparado, então, nas Figuras 22, 23, 24 e 25 são ilustrados os tubos metálicos com as patologias corrosivas encontradas a partir desse estudo.

A Figura 22 retrata o tipo por placas e uniforme, em que a por placas é caracterizada pela formação de leves escavações ou depressões de forma localizada no material, e a corrosão uniforme se manifesta praticamente ao longo de toda extensão da tubulação, sendo um tipo de corrosão comumente encontrada, o que provavelmente, se não forem feitos os reparos necessários, pode diminuir a espessura da tubulação, porém, normalmente não irá apresentar consequências graves.

Dessa forma, pode-se induzir que o processo corrosivo se deu pela atmosfera seca, poluentes atmosféricos, falhas na película protetora, além da presença de gases halogêneos (flúor, cloro, bromo) e dentre outros tipos que são possivelmente encontrados no córrego de esgoto a céu aberto que passa abaixo de onde a tubulação está fixada, além da presença de oxigênio, que também contribui para o processo corrosivo.

Figura 22: Tubulação de distribuição de água em ferro fundido.



Fonte: Autora (2021).

Figura 23: Tubulação parcialmente corroída.



Fonte: Autora (2021)

Figura 24: Tubulação de ferro fundido semi-enterrada.



Fonte: Autora (2021).

Figura 25: Tubulação de ferro fundido semi-enterrada.



Fonte: Autora (2021).

Nas Figuras 24 e 25 são ilustradas tubulações de um trecho da adutora que estão parcialmente enterradas e em contato direto com o solo, respectivamente, desse modo, é perceptível o processo corrosivo por aeração diferencial com a formação de pites.

Devido ao contato direto com o solo e, este ser um meio corrosivo de complexa compreensão, devido à alta variação dos parâmetros físico-químicos nas variáveis trechos de adutora, a tubulação sofre interferência da porosidade, condutividade elétrica, umidade, gases e pH.

Dessa maneira, essas tubulações estão submetidas a condições operacionais aeração diferencial e, essa diferença de aeração resulta na criação de uma pilha de aeração diferencial ou de oxigenação diferencial, em que a área anódica (a que ocorre a corrosão) é menos aerada (GENTIL, 2017).

Ainda segundo Gentil (2017), esse tipo de corrosão acomete comumente tubulações metálicas de longa extensão, que atravessam solos de diferentes teores de água e oxigênio, em que a corrosão acontece de forma mais intensa na parte mais aerada, além de tubulações que são instaladas parcialmente aterradas, em que o processo corrosivo acontece também na parte menos aerada e de forma mais localizada.

Além disso, o fato do material metálico estar exposto a fatores atmosféricos como intempéries (chuva, sol, umidade), contribui para a formação da corrosão por pites na tubulação, sendo necessárias medidas de controle do processo corrosivo para que, então, possam ser evitadas perdas mais íngremes.

Nesse sentido, um possível método anticorrosivo para a tubulação semi-enterrada, seria a proteção catódica, de forma a eliminar as áreas anódicas da superfície do material, fazendo com que toda a estrutura metálica se comporte como catodo, inibindo o fluxo de corrente entre o anodo e catodo, o que elimina o processo corrosivo.

Figura 26: Tubulações de ferro fundido a ser comparada.



Fonte: Araújo Júnior (2019).

Figura 27: Tubulações de ferro fundido a ser comparada.



Fonte: Araújo Júnior (2019).

Mediante a Figura 26 e 27, a qual se refere ao período fevereiro de 2019, pode-se fazer a comparação temporal com o registro fotográfico das tubulações feito no período de maio de 2021 e de fevereiro de 2019. Dessa forma, vale salientar que as tubulações se encontram em trechos diferentes, porém, fazem parte da mesma adutora.

Os tubos referentes à Figura 26 estão expostos a condições atmosféricas (chuva, sol e umidade), além de estarem em contato com solo e, então apresentam os tipos de corrosão: a corrosão uniforme e corrosão por pites, porém, a tubulação da Figura 27 não está em contato direto com o solo, sofrendo interferência apenas das condições atmosféricas. Nesse sentido, comparando as duas situações, estas se encontram nas mesmas condições, com exceção do esforço mecânico que é realizado na tubulação da Figura 24, pois, se encontra em um local de tráfego, ou seja, o local que a tubulação está instalada não está revestido o suficiente para distribuir os impactos gerados pela movimentação, podendo induzir que, o local sofreu arraste de terra pela erosão e, conseqüentemente, deixou a tubulação exposta, aumentando o risco de danos ao componente hidráulico.

Á vista disso, torna-se necessário realizar reparos nesses componentes, uma vez que, estão sujeitos a maiores graus de corrosão, caso não passem por manutenções periódicas. Desse modo, para que não seja necessário realizar a trocas dessas tubulações, é necessário passar por um processo de limpeza (manual ou mecânica), posteriormente, deve-se proteger o material através de tintas especiais à base de resina poliuretânica, pois são bem resistentes à

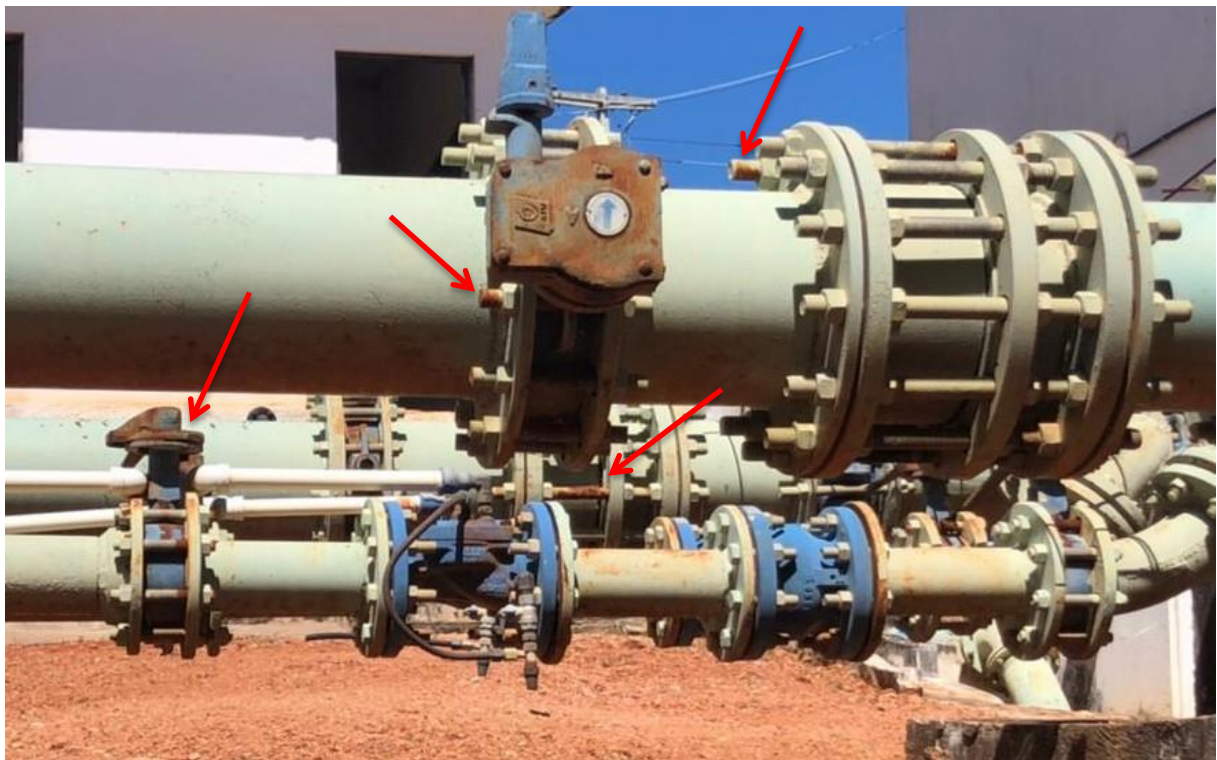
intempéries, estas são compatíveis com os primers epoxídicos e resistem por muitos anos com menor perda de cor e brilho original.

Para a tubulação metálica em contato com o solo pode-se utilizar o método de proteção catódica por corrente impressa, visando eliminar as áreas anódicas da superfície metálica, tornando toda a superfície catódica e conseqüentemente, protegida, ou seja, quem cede elétrons fica anódico e oxida, e quem recebe fica protegido da corrosão. Para isso é utilizada uma fonte geradora de corrente contínua.

5.5.2 Acessórios

Alguns parafusos e peças acessórios foram encontrados em estado corrosivo, desta forma, como exposto nas Figuras 28 e 29, esses componentes estão submetidos a condições atmosféricas (sol, chuva e umidade), além de tensões e fadigas, devido ao processo de bombeamento, que fornece elevados níveis de pressão no sistema, então, o meio corrosivo desses elementos é o ar atmosférico.

Figura 28: Tubulações de ferro fundido a ser comparada.



Fonte: Autora (2021).

Fazendo comparativo com o registro fotográfico do autor Araújo Júnior (2019), tem-se que, ainda há manifestação corrosiva nos parafusos e também em alguns componentes do sistema, sendo então, corrosão uniforme e possivelmente, corrosão por frestas e corrosão galvânica devido ao contato dos parafusos e porcas nos outros componentes de ligas metálicas diferentes.

Figura 29: Parafusos de fixação em fase corrosiva.



Fonte: Araújo Júnior (2019).

Por questões de segurança, deve-se fazer a troca dos parafusos, pois, realizar processos corretivos de corrosão seria inviável em termos econômicos e também, pela corrosão ter deteriorado parte desses elementos, não serviriam para uso posterior ao processo de limpeza, pois, resultaria incompatibilidade com os elementos dependentes por motivos de folgas.

Para os outros acessórios, pode-se adotar componentes de metais compatíveis ou outra alternativa seria a limpeza e adição de revestimento anticorrosivo à base de tintas especiais.

5.5.3 Braçadeiras

As braçadeiras auxiliam na fixação das tubulações alocadas, dessa forma, como estão submetidas às mesmas condições operacionais dos acessórios, sofrem corrosão uniforme e

possivelmente, corrosão galvânica devido à diferença de material metálico envolvido. Dessa forma, a Figura 30 ilustra o caso citado referente ao período de maio de 2021.

Figura 30: Braçadeira metálica.



Fonte: Autora (2021).

Nesse sentido, a Figura 31 mostra a situação do componente metálico no período de 2019, o que indicia que a peça possivelmente não passou por processo de manutenção, porém, como se trata da corrosão uniforme com baixa gravidade, confirma o caso de terem se passados mais de dois anos com a mesma peça, o que indica que o aumento da taxa corrosiva não foi tão grande.

Entretanto, como se trata de um elemento que se submete a tensões e a condições atmosféricas, principalmente pelo fato de precipitações pluviométricas (quando ocorrem), em que acontece o acúmulo de água em torno e na superfície da peça, o que pode ter grande influência na corrosão da braçadeira, dessa maneira, como solução para o caso, pode-se realizar a limpeza do material e, posteriormente, pode-se aplicar o revestimento à base tinta poliuretânica, além de adicionar um material isolante entre os metais, evitando o contato direto entre a braçadeira e a tubulação.

Figura 31: Braçadeira de fixação em material metálico.



Fonte: Araújo Júnior (2019).

5.5.4 Tomada de água flutuante

O sistema de captação flutuante ou boia de sustentação, é o conjunto de bombas que realizam o transporte da água do manancial para a estação de tratamento da água. Observando as Figuras 32, 33 e 34 referentes a 2019, 2020 e 2021, respectivamente, percebe-se a corrosão em estado bem avançado nos componentes da boia.

Figura 32: Boias de sustentação em 2019.



Fonte: Araújo Júnior (2019).

Figura 33: Boias de sustentação em 2020.



Fonte: Barbosa (2020).

Figura 34: Boias de sustentação em 2021.



Fonte: Autora (2021).

Diante desses três cenários, vale ressaltar que a boia apresenta mais de um tipo de corrosão, sendo então: corrosão uniforme, alveolar e por placas. O fato de o material metálico estar parcialmente em contato com a água, além de ter condições atmosféricas como sol, chuva, umidade e evaporação de gases, além de, em casos excepcionais, em que o manancial se encontra em níveis baixos, a boia pode entrar em contato direto também com o solo, o que pode acarretar em uma maior velocidade da corrosão. A Figura 35 representa o processo corrosivo que acometeu uma parte da boia que estava em contato com o solo e água.

Desse modo, é perceptível que os componentes possuíam camada de revestimento anticorrosivo, porém, como não foram realizadas manutenções periódicas de remoção da corrosão e inserção de uma nova camada anticorrosiva, o material atingiu condições avançadas de corrosão, de modo que, o mais aconselhável a se fazer nesse estágio, seria a troca da boia e, se possível, optar por uma boia à base de polímeros, tendo em vista o ambiente ter um potencial corrosivo elevado.

Figura 35: Lateral da boia deteriorada em 2019.



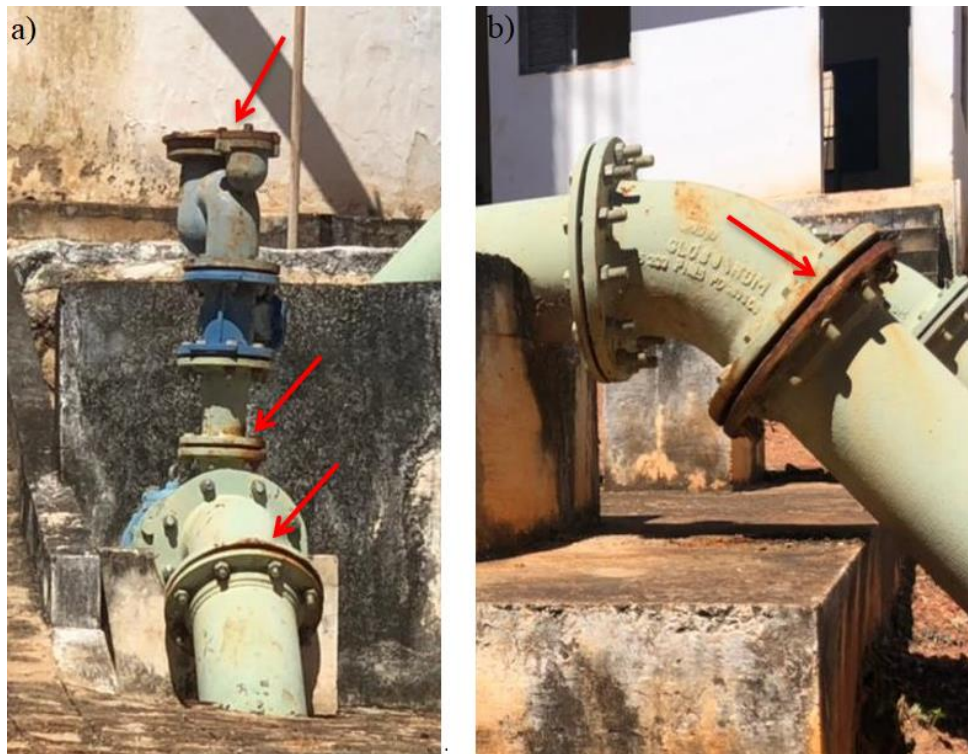
Fonte: Araújo Júnior (2019).

5.5.5 Peças de junção de tubulações ou flanges

As peças de junção interligam os elementos hidráulicos e, a corrosão que é mais ocorre nesses elementos é a corrosão por frestas, pois, devido à abertura entre os flanges podem ser depositadas sujeiras, poeiras, água ou umidade. Com base nas Figuras 36 (a) e (b) e 37, percebe-se que durante essa variação de tempo entre 2019 e 2021 não foram realizados procedimentos de manutenção nem reposição de peças, o que tende a agravar o problema corrosivo de acordo com o tempo.

Dessa forma, como medidas de combate à corrosão, deve-se realizar a limpeza dessas peças, aplicar revestimento de proteção não metálico orgânico (tintas à base de resina poliuretânica) e inserir um material isolante, evitando vazamentos e o processo corrosivo.

Figura 36: (a) Peças de junção com ferrugem à mostra em 2021 (b) Peças de junção em processo corrosivo em 2021.



Fonte: Autora (2021)

Figura 37: Peças de junção em processo corrosivo em 2019.



Fonte: Araújo Júnior (2019).

5.5.6 Reservatório metálico

O reservatório analisado é de aço e deve passar por manutenções periódicas, uma vez que a taxa de corrosão no tipo de aço utilizado oscila, ou seja, pode sofrer processos de

corrosão de acordo com o passar do tempo. Dessa forma, como indicado na Figura 40, o reservatório está submetido às mesmas condições atmosféricas dos componentes anteriores e sofrem corrosão do tipo uniforme na extensão do cilindro e da grade metálica.

Comparando ao registro fotográfico de 2021 ao de 2019, mediante as Figuras 38 e 39, em que se passarão mais de dois anos, observa-se que houve um aumento de corrosão no corpo cilíndrico, o que comprova o aumento da corrosão no material com o passar do tempo.

Nesse sentido, devem-se realizar reparos de forma imediata, pois, o reservatório armazena água potável que abastecerá toda a população dependente. Dessa forma, é extremamente importante a realização da limpeza da superfície do reservatório, aplicação da camada de tinta especial à base de material não metálico orgânico, e a substituição da grade metálica (pois na sua condição não compensaria fazer todo o procedimento de limpeza e revestimento). Além disso, deve-se monitorar o estado corrosivo e realizar manutenções periódicas a fim de evitar tais problemas corrosivos.

Figura 38: Reservatório em processo corrosivo em 2021.



Fonte: Autora (2021).

Figura 39: Reservatório em processo corrosivo em 2019.



Fonte: Araújo Junior (2019).

5.6 Influência dos parâmetros qualitativos da água na deterioração dos componentes hidráulicos do SAA

Analizando todos esses cenários e os seus repetíveis fatores que influenciaram no processo corrosivo, ainda existem outros meios que acarretam essa extensa patologia, nesse caso, são os parâmetros da qualidade da água, os quais podem afetar o desempenho de fluxo do recurso hídrico pelas tubulações de distribuição.

Diante disso, esse processo de deterioração do material metálico seria de forma interna nas tubulações que estão em contato direto com a passagem de água, podendo provocar a formação de tubérculos ou incrustações (o que dependendo do caso poderia afetar o desempenho da adutora como: redução de vazão, mudança na coloração da água “água vermelha” devido ao elevado teor de ferro formado pelo processo corrosivo, sabor e odor característico, entre outros problemas).

Dessa forma, vale mencionar que os componentes que sofrem patologias mais agressivas são aqueles atrelados ao manancial com água bruta, pois, as concentrações dos parâmetros analisados propiciam um maior impacto no quesito da corrosão metálica, porém, o caso de toda adutora deve ser levado em consideração, pois, esta é formada por um conjunto de equipamentos.

Nesse sentido, foram observados valores que não atendem a Portaria GM/MS N° 888, a qual indica o quantitativo adequado para a distribuição de água para o consumo. Desse modo, os parâmetros que não respeitaram os valores estabelecidos pela regulamentação são o pH, cor, turbidez o que implica que possivelmente houve interferência de produtos corrosivos nas tubulações, de modo a alterar os aspectos da água distribuída.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do estudo realizado sobre os parâmetros da qualidade da água e dos registros fotográficos dos componentes metálicos do sistema adutor Capivara, foi observado que houve interferência dos parâmetros de pH, cor, turbidez, além de outros fatores que contribuíram para o surgimento de patologias corrosivas nos acessórios e tubulações que levam a água até os pontos de consumo.

A respeito da qualidade da água, foram encontrados na água distribuída valores de pH bem abaixo do permitido pela legislação no ano de 2019, chegando a 4,41, o que se considera ser bem agressivo e propício para a manifestação corrosiva, porém, o valor médio de pH na saída da ETA foi em torno de 6,92, o que leva a induzir que ocorreram modificações nos parâmetros da água ao longo da distribuição, de forma que não promoveu o controle/equilíbrio químico adequado para a finalidade da água, tendo em vista que águas ácidas corroboram para a corrosão e águas alcalinas para incrustações.

Ademais, pode-se dizer que as variações dos parâmetros encontrados como cor e turbidez puderam ter grande influência do processo corrosivo desencadeado ao longo do sistema adutor, pois a mudança de coloração da água para “avermelhada” pode ser consequência dos resíduos de ferro oriundos do produto da corrosão.

Nesse sentido, os agentes agressivos ao meio são: o ar úmido, a água, o solo e o oxigênio presente no ar atmosférico, os quais contribuíram para a manifestação corrosiva nas tubulações, reservatórios de água, nas boias flutuantes de sustentação e demais acessórios que fazem parte do SAA.

A respeito dos tipos de manifestações corrosivas encontradas, pôde-se destacar a corrosão uniforme, por pites, por placas, por aeração diferencial e alveolar. Desse modo, a partir dos registros fotográficos e mediante auxílio da literatura, tornou-se possível elaborar um triângulo de corrosão, o qual permitiu diagnosticar e direcionar possíveis técnicas de tratamento e prevenção para os componentes afetados.

Com relação ao cenário da corrosão encontrada, em que foi analisado através de uma comparação temporal entre 2019 e 2021, pôde-se perceber que a maioria dos componentes que sofreram deterioração por corrosão não passaram por manutenção, nem substituição, o que contribuiu no aumento do processo de corrosão já existente, colocando em risco o funcionamento e desempenho do sistema adutor, além do bem estar da população consumidora do recurso hídrico.

Dessa forma, é imprescindível a realização de manutenções periódicas e trocas dos componentes em estado crítico, a fim de promover um bom desempenho do sistema adutor estudado, garantindo então, o fornecimento de água para Uiraúna/PB e regiões circunvizinhas dependentes, tendo em vista ser um recurso de grande importância para a sobrevivência humana.

Nesse viés, sugerem-se linhas de pesquisas e estudos na continuação desse trabalho, em que se podem realizar análises do estado da corrosão do sistema de abastecimento, além da realização de ensaios laboratoriais mediante amostras de água dos bairros do município, de forma a verificar a sua potabilidade, considerando a regulamentação vigente de controle e vigilância da qualidade da água, pois, por se tratar de um recurso bastante importante para a sobrevivência humana, devem-se realizar verificações periódicas, a fim de manter o bem estar da sociedade.

Portanto, esse trabalho oferece observações consideráveis para estimular a conscientização do órgão responsável em promover manutenções periódicas e verificação/adequação dos parâmetros da qualidade da água com destinação ao consumo humano. Nesse sentido, vale ressaltar a parceria e intenção da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA, em solicitar o resultado dessa pesquisa para possíveis considerações.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA – AESA. **Volume de açudes**. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-acude/?id_acude=9633. Acesso em: 12 de mai. 2021.
- ARAÚJO JUNIOR, A. P. **Análises dos processos corrosivos na barragem capivara em Uiraúna/PB**. 2019. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Pau dos Ferros – RN, 2019.
- AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ, M. F.. **Manual de Hidráulica**. 9. Ed. São Pulo: Ed. Edgard Blucher Ltda, 2015.
- BARBOSA, F. F. **Mesmo com boas chuvas, açudes mantém volumes baixos**. 2020. Disponível em: <https://www.cofemac.com.br/noticias/1310-mesmo-com-boas-chuvas-acudes-mantem-volumes-baixos>. Acesso em: 26 out. 2021.
- BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; CHEUNG, Peter Batista. **Perdas de água: tecnologia do controle**. 3. ed. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília – DF, 2006.
- BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades Utilizando o Clorador Simplificado Desenvolvido pela Funasa**. Brasília: Funasa, 2014.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de consolidação nº. 5**, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do sistema único de saúde. Brasília, 2017. Anexo XX, p. 432-456.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 5. ed. Brasília: Funasa, 2019.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Curso básico de vigilância da qualidade da água para consumo humano: módulo II: abastecimento de água: aula 2: etapas do abastecimento de água para consumo humano [recurso eletrônico]**. Brasília: Ministério da Saúde, 2020. Disponível em: www.bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/curso_basico_vigilancia_qualidade_agua_modulo_II_aula_2.pdf. Acesso em: 5 de ago. 2021.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 04 de Maio de 2021**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 8 de mar. 2021.
- CASTRO, E. M. C. **Patologias dos Edifícios em Estrutura Metálica**. Ouro Preto, 1999.
- DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Ângela di Bernardo. **Métodos e Técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Paulo: Editora Rima, 2005.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1996.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2017.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. v.1.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. v.2.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. – IBGE: **Cidades**. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/uirauna.html>. Acesso em: 11 de mai. 2021

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. São Paulo: Átomo, 2010.

MEDEIROS FILHO, C. F. **Abastecimento de água**. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande, 2000.

MESQUITA FILHO, Júlio de. Notas de aula de sistema de abastecimento. Universidade Estadual Paulista – UNESP, Ilha Solteira, 2000.

OLIVEIRA, A. R. **Corrosão e Tratamento de Superfície**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA, Belém, 2012.

PANNONI, F. D., **Coletânea do uso do aço**: princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio. 5. ed. São Paulo: Gerdau, 2011.

PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente - SECTMA. **Estudos técnicos preliminares, de viabilidade e do projeto básico do sistema adutor Capivara**: relatório final do projeto básico. João Pessoa, 2006. v.5. Disponível em: www.aesa.pb.gov.br/proagua/. Acesso em: 12 de mai. 2021.

PEREZ, José Luis. **Investigação da qualidade e da estabilização química da água distribuída na cidade de Brodowski – SP**. Tese de Mestrado. Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP, Ribeirão Preto – SP, 2011.

SAAE. Serviço Autônomo de Água e Esgoto. **Sistema de Tratamento de Água**. Aracruz, 2006. Disponível em: https://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Agua.pdf. Acesso em 15 de nov. 2021.

SILVA, B. A. **Efeito da corrosão de tubulações de aço galvanizado na pressão de um sistema predial de distribuição de água**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Goiás: Escola de Engenharia Civil e Ambiental – UFG, Goiânia – GO, 2017.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Série Histórica**. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 12 de mai. 2021.

SIQUEIRA, Gonçalo. **Desenvolvimento com tinta de nanocargas para aplicação nos estudos da velocidade de corrosão**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, São Paulo – SP, 2018.

SOUSA FILHO, J. W. **Inovações tecnológicas para o tratamento de água para consumo humano**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Triângulo Mineiro – UFTM/PPGMP, Uberaba – MG, 2019.

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.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. v. 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. v. 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.