

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

NATHÁLIA VIEIRA FARIAS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA ETA ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE
INDICADORES DE QUALIDADE**

CRICIÚMA/SC

2020

NATHÁLIA VIEIRA FARIAS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA ETA ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE
INDICADORES DE QUALIDADE**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheira Ambiental e Sanitarista no Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Professora Msc. Cristina Moreira Lalau

CRICIÚMA/SC

2020

NATHÁLIA VIEIRA FARIAS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA ETA ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE
INDICADORES DE QUALIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenharia Ambiental e Sanitarista, no Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Criciúma, 05 de agosto de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Msc. Cristina Moreira Lalau (UNESC) - Orientador

Prof. Msc. Marta Valéria Guimarães de Souza Hoffman (UNESC)

Prof. Msc. José Alfredo Dallarmi da Costa (UNESC)

Dedico este trabalho aos meus pais que não mediram esforços para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar junto de mim em todos os momentos.

Aos meus pais Adelino Silveira Farias e Norma Iraci Vieira, pelos ensinamentos e apoio ao longo de toda a graduação, pela compreensão e confiança em mim depositada. Sou grata por todas as palavras de carinho e estímulos nos momentos difíceis. Tenho uma admiração e gratidão infinita por tudo que vocês fizeram e fazem por mim.

Ao meu irmão Jonathan e sua família, pelo incentivo e carinho. A minha irmã Cassiana, que esteve presente em toda minha caminhada acadêmica e acompanhou os momentos bons e ruins, e sempre me deu apoio e suporte, sou grata pelas conversas e risadas e também pelas dicas e correções do trabalho.

Ao meu namorado Douglas, pelo companheirismo e incentivo durante toda a faculdade, por me ouvir e sempre me incentivar mesmo quando tudo parecia distante.

A professora Cristina, por aceitar ser minha orientadora e pelo suporte, dedicação, paciência e ensinamentos para a realização deste trabalho, sempre disponível para tirar dúvidas e me auxiliando no estudo.

Aos meus amigos e colegas que me apoiaram nessa etapa, em especial as minhas amigas e confidentes Suélem e Maria Victoria, pelo apoio e paciência, ouvindo os desabafos e presenciando os momentos de angústia e felicidade ao longo da faculdade. Em especial a minha amiga e colega Maria Victoria, por ser minha dupla em toda a graduação e principalmente pelas conversas e conselhos, por sempre acreditar e me incentivar de que tudo iria e vai dar certo, tenho uma admiração enorme por você.

A empresa que possibilitou realizar esse estudo, obrigada!

A todos os professores do curso da Engenharia Ambiental e Sanitária, em especial ao professor Alfredo e a professora Marta por aceitarem fazer parte da banca avaliadora. E em especial também ao professor Gustavo Zambrano, por auxiliar na elaboração do mapa de localização.

**“É preciso força para sonhar e perceber
que a estrada vai além do que se vê”.**

Los Hermanos

RESUMO

A água é um elemento fundamental para os seres humanos, possuindo um valor intrínseco, pois é responsável pela qualidade de vida da população e também do desenvolvimento econômico e cultural do país. A água utilizada para abastecimento público deve estar dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria de consolidação nº 5 de 2017. Quando ETA não cumpre um bom desempenho proporciona riscos à comunidade na qual fornece água, assim como ocasiona prejuízos a gestão responsável. Considerando toda a problemática relacionada à má qualidade da água, os indicadores de qualidade são ferramentas relevantes de acompanhamento e tomada de decisões pelas prestadoras de serviço de saneamento e para a sociedade. Nesse contexto o presente trabalho teve como intuito aplicar e avaliar um sistema de indicadores de qualidade de uma ETA, considerando os requisitos das legislações vigentes. O desenvolvimento do procedimento possibilitou diagnosticar o desempenho da ETA, e, através dos resultados obtidos, propor, se necessário, alternativas de melhoria caso deficiências forem encontradas. Para o alcance do objetivo proposto no presente estudo, realizou-se a classificação do manancial de captação, a descrição da ETA e dos seus dispositivos de tratamento e, ao fim, a aplicação do indicador selecionado. Conforme os resultados das amostras coletadas na lagoa observou-se que o manancial de captação se enquadra na Classe II, segundo a classificação CONAMA nº 357 de 2007. De acordo a legislação o tratamento da água realizado para o manancial em questão é do tipo convencional no qual é constituído das etapas de mistura rápida, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Com relação a análise de desempenho essa se baseou na literatura cujo foco foi o desenvolvimento de um indicador de desempenho para uma estação de tratamento de água do tipo convencional. Desses aplicaram-se os indicadores de percentual de amostras de água tratada com cor aparente inferior ou igual a 15uC, percentual de amostras de água tratada com ausência de coliformes fecais, percentual de amostras de água tratada com turbidez inferior ou igual a 1,0uT e percentual de amostras de água tratada com cloro residual livre superior ou igual a 0,2mg/L e inferior ou igual a 2mg/L e esses foram denominado IQ1, IQ2, IQ3 e IQ4 respectivamente. Para obter os percentuais foram utilizados os dados das análises da água tratada do mês de janeiro, fevereiro, abril, maio e junho de 2020. Os resultados obtidos no presente estudo demonstraram que o desempenho da ETA de estudo, em termos de qualidade, encontra-se dentro do intervalo considerado satisfatório. O desenvolvimento do estudo permitiu concluir que o uso de metodologias de avaliação de desempenho, através de indicadores de qualidade, é uma ferramenta fundamental com vistas a se obter de maneira precisa informações a respeito da eficiência da estação e assim auxiliar no monitoramento da operação do sistema e tomada de decisões.

Palavras-chave: Estação de tratamento de água. Indicadores de qualidade. Desempenho.

ABSTRACT

Water is a fundamental element for human beings, it has an intrinsic value because it is responsible for the life quality of the population and also for the economic and cultural development of the country. Water supplied to the public must meet the potability standards established by the Consolidation Ordinance No. 5 of 2017. Therefore, the treatment of raw water is necessary. When the Water Treatment Plant (WTP) does not meet a good performance, it provides risks to the community in which it supplies water, as well as causing losses to responsible management. Considering all the problems related to poor water quality, performance indicators are relevant tools for monitoring and decision-making by sanitation service providers and for society itself. In this context and considering the requirements of current legislation, this work aimed to apply and evaluate a system of quality indicators of a WTP. The development of the procedure made it possible to diagnose the performance of this WTP, and, through the results obtained, to propose, if necessary, alternatives for improvement in case deficiencies are found. In order to achieve the objective proposed in this study, the classification of the collection source, the description of WTP, its treatment devices and the application of the selected indicator were performed. According to the results of the samples collected in the pond, the uptake reservoir falls into Class II, based on the CONAMA classification No. 357. According to the legislation, the water treatment performed for the reservoir in question is the conventional type in which it consists of the stages such as rapid mixing, coagulation, flocculation, decantation, filtration and disinfection. Regarding the performance analysis, this study was based on the literature which focused on the development of a performance indicator for a conventional type of water treatment plant. The indicators applied were: percentage of samples of water treated with an apparent color less than or equal to 15uC, percentage of samples of water treated with absence of fecal coliforms, percentage of samples of water treated with turbidity less than or equal 1.0uT and percentage of samples of water treated with free residual chlorine greater than or equal 0.2mg/L and less than or equal to 2mg/L. And these were named IQ1, IQ2, IQ3 and IQ4, respectively. To obtain the percentages, data from the analysis of treated water from January, February, April, May and June were used. The results obtained in the present study demonstrated that the performance of the study WTP, in terms of quality, is within the satisfactory range. The development of the study allowed the conclusion that the use of performance evaluation methodologies, through quality indicators, is a fundamental tool in order to obtain accurate information regarding the efficiency of the station and thus assist in monitoring the operation of the system and decision making.

Keywords: Water treatment plant. Quality indicators. Development.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Fluxograma construção do IQ.....	39
Figura 02- Níveis de confiança	42
Figura 03 - Intervalos de referência.....	43
Figura 04- Esquema resumo das etapas da metodologia	45
Figura 05- Fluxograma do sistema operacional da ETA	48
Figura 06- Localização ETA Lagoa da Serra	51
Figura 07- Casa de bomba	54
Figura 08- Etapa de mistura rápida e coagulação.....	55
Figura 09- Etapa de floculação	56
Figura 010- Etapa de decantação	57
Figura 11- Etapa de filtração.....	58
Figura 12- Etapa de desinfecção.....	58
Figura 13- Tratamento lodo.....	59
Figura 14- Intervalos de referência.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 01– Padrões de qualidade para corpos d’água doce conforme Resolução CONAMA nº 357/05.....	27
Tabela 02- Padrões de potabilidade conforme a Portaria de Consolidação nº 5/2017	28
Tabela 03- Relação de pesos atribuídos ao IQ	41
Tabela 04- Análises mensais da água bruta.....	52
Tabela 05- Média parâmetros água bruta e desvio padrão	52
Tabela 06- Amostras de água tratada Cor Aparente mês de janeiro 2020	60
Tabela 07- Amostras de água tratada Cor Aparente mês de fevereiro 2020	61
Tabela 08- Amostras de água tratada Cor Aparente mês de abril 2020.....	61
Tabela 09- Amostras de água tratada Cor Aparente mês de maio 2020.....	61
Tabela 10- Amostras de água tratada Cor Aparente mês de junho	61
Tabela 11- Amostras de água tratada Turbidez mês de janeiro 2020	63
Tabela 12- Amostras de água tratada Turbidez mês de fevereiro 2020	64
Tabela 13- Amostras de água tratada Turbidez mês de abril 2020	64
Tabela 14- Amostras de água tratada Turbidez mês de maio 2020	64
Tabela 15- Amostras de água tratada Turbidez mês de junho 2020	65
Tabela 16- Amostras de água tratada Cloro Residual Livre mês de janeiro 2020 ..	66
Tabela 17- Amostras de água tratada Cloro Residual Livre mês de fevereiro 2020	66
Tabela 18- Amostras de água tratada Cloro Residual Livre mês de abril 2020	67
Tabela 19- Amostras de água tratada Cloro Residual Livre mês de maio 2020	67
Tabela 20- Amostras de água tratada Cloro Residual Livre mês de junho 2020 ...	67
Tabela 21- Resultados dos indicadores de cada parâmetro	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAR	Associação Brasileira de Agências de Regulação
AMESC	Associação dos Municípios do Extremo Sul Catarinense
ARIS	Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ID	Indicador de Desempenho
IQ	Indicador de Qualidade
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	16
2.1.1 Disponibilidade hídrica global	17
2.1.2 Disponibilidade hídrica no Brasil	17
2.2 ÁGUAS DE ABASTECIMENTO	17
2.3 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	19
2.3.1 Cor	20
2.3.2 Turbidez	20
2.3.3 Sabor e odor	21
2.3.4 Potencial hidrogeniônico (pH)	21
2.3.5 Temperatura	21
2.3.6 Condutividade elétrica	22
2.3.7 Alcalinidade	22
2.3.8 Oxigênio dissolvido	22
2.3.9 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	23
2.3.10 Ferro e manganês	23
2.3.11 Sólidos totais	24
2.3.12 Nitrogênio	24
2.3.13 Fósforo	25
2.3.14 Termotolerantes	25
2.4 LEGISLAÇÕES PERTINENTES	26
2.4.1 Resolução CONAMA nº 357/2005	26
2.4.2 Portaria de Consolidação nº 5/2017	28
2.4.3 Lei nº 11.445/2007	29
2.5 TRATAMENTO DE ÁGUA	29
2.5.1 Coagulação	31
2.5.2 Floculação	32
2.5.3 Decantação	32
2.5.4 Filtração	33
2.5.5 Desinfecção	33
2.5.6 Fluoretação	33
2.6 INDICADOR DE DESEMPENHO.....	34

2.6.1 Sistemas de indicadores nacionais	35
2.6.1.1 <i>Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento (SNIS)</i>	35
2.6.1.2 <i>Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR)</i>	36
2.7 INDICADOR DE QUALIDADE	37
2.7.1 Percentual de amostra com Cor Aparente da água tratada superior a 15uC	39
2.7.2 Percentual de amostras com ausência de Coliformes Fecais	40
2.7.3 Percentual de amostras de água tratada com Turbidez superior a 0,5uT	40
2.7.4 Percentual de amostras com Cloro Residual Livre superior a 0,2mg/L	41
2.7.5 Verificação de desempenho	41
3 METODOLOGIA	44
3.1 ÁREA DE ESTUDO	45
3.1.1 Descrição e classificação do manancial	46
3.1.2 Características da Estação de Tratamento de Água (ETA)	47
3.1.3 Dispositivos operacionais da ETA	47
3.1.4 Seleção e aplicação do indicador de desempenho	48
3.1.4.1 <i>Indicador de Qualidade (IQ)</i>	49
3.1.5 Verificação de desempenho	49
3.1.6 Deficiências e proposição de soluções	50
4 RESULTADOS	51
4.1 DESCRIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO MANANCIAL	51
4.2 CARACTERÍSTICA DA ETA	53
4.3 DISPOSITIVOS OPERACIONAIS DA ETA	53
4.3.1 Captação de água bruta	53
4.3.2 Coagulação	54
4.3.3 Floculação	55
4.3.4 Decantação	56
4.3.5 Filtração	57
4.3.6 Desinfecção	58
4.3.7 Tratamento do lodo	59
4.4 APLICAÇÃO DO INDICADOR	60
4.4.1 Percentual de amostra com Cor Aparente da água tratada inferior a 15Uc	60
4.4.2 Percentual de amostras com ausência de Coliformes Fecais	63

4.4.3 Percentual de amostras de água tratada com Turbidez superior a 0,5uT	63
4.4.4 Percentual de amostras com Cloro Residual Livre superior a 0,2mg/L	66
4.5 VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO	68
5 CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

A água é um fator essencial para a manutenção da vida e extremamente importante para as atividades econômicas, entretanto ela também representa risco para a sociedade quando sua qualidade não está dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos para consumo. O risco refere-se a transmissão de doenças por meio da veiculação hídrica, contaminação através de agentes etiológicos de caráter infeccioso ou parasitário, no qual é responsável pela alta incidência de doenças que afetam as populações de modo geral.

A água contaminada transmite inúmeros agentes infecciosos causadores de enterites e diarreias infantis, principais fatores do elevado índice de mortalidade infantil no país. A disponibilidade de recursos hídricos no nosso país é bastante comprometida, do ponto de vista sanitário, em regiões onde o desenvolvimento se processou de forma desordenada, provocando a poluição das águas pelo lançamento indiscriminado de esgotos domésticos, despejos industriais, agrotóxicos e outros poluentes.

O território brasileiro contém cerca de 12% de toda a água doce do planeta. Ao todo, são 200 mil microbacias espalhadas em 12 regiões hidrográficas, como as bacias do São Francisco, do Paraná e a Amazônica (a mais extensa do mundo e 60% dela localizada no Brasil). Isso representa um enorme potencial hídrico, capaz de prover um volume de água por pessoa 19 vezes superior ao mínimo estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) – de 1.700 m³/s por habitante por ano (BRASIL, 2020).

O Brasil possui uma riqueza no que se refere a recursos hídricos em comparação a outros países, entretanto esses recursos estão sendo degradados ao longo dos últimos anos, o que contribui para o aumento da escassez da água. Segundo Tsutiya (2006), o manancial é uma fonte de suprimento de água e de um modo geral vem sofrendo degradações em suas bacias hidrográficas, principalmente devido a urbanização, erosão, assoreamento, atividades industriais, despejo de esgotos domésticos e descarte de resíduos sólidos de forma inapropriada.

Neste contexto, a qualidade da água para consumo humano deve ser considerada como fator essencial no desenvolvimento das ações dos serviços de abastecimento de água, de maneira que a água distribuída ao usuário tenha todas

as características de qualidade determinadas pela legislação vigente. Uma forma de assegurar uma distribuição de água conforme padrões de potabilidade estabelecidos, é submeter a água de captação ao tratamento. Segundo Brasil (2014), o tratamento de água consiste em melhorar suas características organolépticas, físicas, químicas e bacteriológicas, a fim de que se torne adequada ao consumo humano. Sendo assim, é necessário que as estações responsáveis pelo tratamento da água possuam um desempenho eficiente. Nesse sentido, podem ser utilizados indicadores como ferramenta para avaliar a qualidade da ETA, com objetivo de observar se a estação está atendendo os padrões de qualidade estabelecidos, assim como, avaliar seu desempenho.

Assim, o presente trabalho visa aplicar e avaliar um sistema de indicador de qualidade em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) no município de Araranguá - SC, com o intuito de verificar se a água distribuída para o abastecimento público está dentro dos padrões legalmente estabelecidos, assim como, avaliar o desempenho do tratamento uma vez que a ETA de estudo é responsável por abastecer mais de 60% do município.

Com o intuito de atender ao objetivo do presente estudo, foram elencados os seguintes objetivos específicos: a) verificar a classificação do manancial de captação utilizado pela ETA, conforme as legislações vigentes; b) identificar dispositivos que compõem a ETA e o tipo de sistema de tratamento; c) selecionar e aplicar os indicadores de qualidade; d) diagnosticar o desempenho da ETA e propor alternativas de solução para as deficiências observadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

O novo século traz crise de falta de água e o homem precisa discutir o futuro da água e da vida. A abundância desse elemento líquido causa uma falsa sensação de recurso inesgotável (MACEDO, 2001). Segundo Bicudo, Tundisie Scheuenstuhl (2010), se analisar a questão sob o prisma da qualidade, a preocupação com a disponibilidade de água é ainda maior. Pode-se dizer que se enfrenta uma grande crise de água: vai continuar tendo água, mas será difícil utilizá-la.

O uso da água tem aumentado em todo o mundo a uma taxa de cerca de 1% por ano desde a década de 1980, o que se deve a uma combinação de crescimento populacional, desenvolvimento socioeconômico e mudanças nos padrões de consumo. A demanda mundial por água deve continuar aumentando a uma taxa semelhante até 2050, o que representará um aumento de 20% a 30% em relação ao nível atual de uso, principalmente devido à demanda crescente nos setores industrial e doméstico (UNESCO, 2019).

Segundo Bicudo, Tundisie Scheuenstuhl (2010), no último século, a demanda total de água aumentou seis vezes, enquanto que a população cresceu somente três. O aumento acelerado da demanda de recursos hídricos cria, inicialmente, o problema da escassez quantitativa do recurso, sendo que, concomitantemente, diminui a qualidade das águas pelo aumento da população. Este aumento produz um incremento na industrialização, no uso de agrotóxicos na agricultura e no uso inadequado do solo e da água. As águas poluídas pelas atividades antropogênicas retornam com qualidade inferior aos corpos d'água de que foram retirados.

Segundo UNESCO (2019), três entre cada dez pessoas não têm acesso a água potável segura. Quase a metade das pessoas que consome água potável de fontes desprotegidas vivem na África Subsaariana. Seis entre cada dez pessoas não têm acesso a serviços de saneamento gerenciados de forma segura, e uma em cada nove pratica a defecação ao ar livre. Água potável e saneamento seguros são reconhecidos como direitos humanos básicos, uma vez que eles são indispensáveis

para sustentar meios de subsistência saudáveis e fundamentais para manter a dignidade de todos os seres humanos.

2.1.1 Disponibilidade hídrica global

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2020c), estima-se que 97,5% da água existente no mundo é salgada e não é adequada ao nosso consumo direto nem à irrigação da plantação. Dos 2,5% de água doce, a maior parte (69%) é de difícil acesso, pois está concentrada nas geleiras, 30% são águas subterrâneas (armazenadas em aquíferos) e 1% encontra-se nos rios. Logo, o uso desse bem precisa ser pensado para que não prejudique nenhum dos diferentes usos que ela tem para a vida humana.

2.1.2 Disponibilidade hídrica no Brasil

Segundo a ANA (2019), o Brasil é um dos países que possuem a maior disponibilidade de água doce do mundo. Isso traz um aparente conforto, porém os recursos hídricos estão distribuídos de forma desigual no território, espacial e temporalmente. Esses fatores, somados aos usos intensivos da água pelas diferentes atividades econômicas nas bacias hidrográficas brasileiras e os problemas de qualidade de água decorrentes da poluição hídrica, exigem ações de gestão dos recursos hídricos cada vez mais efetivas

Segundo a ANA (2020b), em termos globais, o Brasil possui uma boa quantidade de água. Estima-se que o país possua cerca de 12% da disponibilidade de água doce do planeta. Mas a distribuição natural desse recurso não é equilibrada. De acordo com Bicudo, Tundisie Scheuenstuhl(2010), o Brasil é um país privilegiado com relação aos seus recursos naturais e, entre estes, os recursos hídricos superficiais e subterrâneos têm relevante papel ecológico, econômico, estratégico e social. Entretanto, apresenta sérios problemas de diagnóstico, avaliação estratégica e gestão de seus recursos hídricos.

2.2 ÁGUAS DE ABASTECIMENTO

Segundo Braga *et al* (2002), a água é um dos recursos naturais mais intensamente utilizados, sendo fundamental para a existência e manutenção da

vida. Dessa maneira, deve estar presente no ambiente em quantidade e qualidade apropriadas. O homem tem usado a água não só para suprir suas necessidades metabólicas, mas também para outros fins.

Ainda segundo Braga *et al* (2002), dentre os vários usos da água, o abastecimento humano é considerado o mais nobre e prioritário, uma vez que o homem depende de uma oferta adequada de água para sua sobrevivência. A água usada para abastecimento doméstico deve apresentar características sanitárias e toxicológicas adequadas para prevenir danos à saúde e ao bem-estar do homem.

De acordo com Sewell (1978), a maior parte dos suprimentos urbanos de água vem de mananciais de água de superfície (lagos e rios) ou água subterrânea. O sistema urbano típico de uso da água representa um ciclo imperfeito. De acordo com Branco (2006), outras fontes de recursos hídricos poderão também ser avaliados, como a dessalinização de águas salobras ou salinas e o reuso de águas servidas, em casos extremos de disponibilidade hídrica reduzida.

Segundo a ANA (2019), a atividade humana e os diversos setores da economia moderna demandam recursos hídricos e utilizam a água de forma heterogênea. Após sua utilização, retornam os efluentes ao meio ambiente em diferentes situações de quantidade e de qualidade. A água pode ser usada para diversos fins, como industrial, agrícola, humano, animal, transporte e geração de energia. Cada uso da água possui peculiaridades, seja por aspectos ligados à quantidade ou à qualidade, e altera as condições naturais das águas superficiais e subterrâneas. A água é utilizada no Brasil principalmente para irrigação, abastecimento humano e animal, indústria, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, recreação e lazer. Atualmente, o principal uso de água no País, em termos de quantidade utilizada, é a irrigação.

Segundo Bicudo, Tundisie Scheuenstuhl(2010), no mundo todo e no Brasil, a agricultura é o maior consumidor de água. Estima-se que 69 % das águas consumidas no mundo são dedicadas à agricultura, 23 % à indústria, e 8 % ao abastecimento da população.

Ainda conforme Bicudo, Tundisie Scheuenstuhl (2010), estima-se que cerca de 10 % da carga global de doenças seja devida à má qualidade da água e as deficiências na disposição de excretas e na higiene. Quase 90 % dos cerca de 4 bilhões de episódios anuais de diarreia, em todo o mundo (que causam 1,5 milhões de mortes em menores de cinco anos), são atribuídos a deficiências no

esgotamento sanitário e na provisão de água de boa qualidade. Por outro lado, sabe-se que até 94 % dos casos de diarreia são passíveis de prevenção.

Entre as melhorias do saneamento ambiental, os sistemas de abastecimento de água são os que provocam maior impacto na redução das doenças infecciosas. A água contém sais dissolvidos, partículas em suspensão e microrganismos, que podem provocar doenças, dependendo das suas concentrações. Livre desses agentes, além de evitar a contaminação das pessoas, a água provoca inúmeros benefícios diretos à saúde (TSUTIYA, 2006).

2.3 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A água pura é um líquido incolor, inodoro, insípido e transparente. Entretanto, por ser ótimo solvente, nunca é encontrada em estado de absoluta pureza, contendo várias impurezas que vão desde alguns miligramas por litro na água da chuva a mais de 30 mil miligramas por litro na água do mar. Dos 103 elementos químicos conhecidos, a maioria é encontrada de uma ou outra forma nas águas naturais (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

Segundo Pádua (2009), até fins do século XIX, a qualidade da água para consumo humano era, em geral, aferida por sua aparência física. A partir do século XX, depois da ocorrência de diversos surtos de doenças de veiculação hídrica e com o avanço do conhecimento científico, tornou-se necessário o desenvolvimento de recursos técnicos, e mais tarde legais, que, de modo objetivo, traduzissem as características que a água deveria apresentar para ser considerada potável. Assim, a qualidade da água para consumo humano passou a ser estabelecida, como é até hoje, com base em Valor Máximo Permitido (VMP) para diversos contaminantes, ou indicadores da qualidade da água, reunidos em normas e critérios de qualidade da água, ou padrões de potabilidade.

A qualidade de uma água é definida por sua composição química, física e bacteriológica. As características desejáveis de uma água dependem de sua utilização. Para o consumo humano há necessidade de uma água pura e saudável, isto é, livre de matéria suspensa visível, cor, gosto e odor, de quaisquer organismos capazes de provocar enfermidade e de quaisquer substâncias orgânicas ou inorgânicas que possam produzir efeitos biológicos prejudiciais (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

A água encontrada na natureza possui uma série de impurezas, que definem suas características físicas, químicas e biológicas. Essas impurezas podem torná-la imprópria para o consumo. Uma água para ser considerada potável, isto é, com qualidade adequada ao consumo humano, deve atender a padrões de qualidade definidos por legislação própria. Isso leva a necessidade de tratamento prévio da água, principalmente para os consumos domésticos e industrial, que possuem requisitos de qualidade mais exigentes (BARROS *et al*, 1995).

2.3.1 Cor

A cor da água é o resultado principalmente dos processos de decomposição que ocorrem no meio ambiente. Por este motivo, as águas superficiais estão mais sujeitas a ter cor do que as águas subterrâneas. Além disso, pode-se ter cor devido à presença de alguns íons metálicos como ferro e manganês, plâncton, macrófitas e despejos industriais (MACEDO, 2001).

Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), em combinação com o ferro, a matéria orgânica pode produzir cor de elevada intensidade. A cor é sensível ao potencial hidrogeniônico (pH), a sua remoção é mais fácil a pH baixo e quanto maior o pH, mais intensa é a cor. Quando a água apresenta além da cor uma turbidez adicional, diz-se que a cor é aparente. Removida a turbidez, o residual que se mede é a cor verdadeira.

2.3.2 Turbidez

A turbidez é uma característica da água devida à presença de partículas suspensas com tamanho variando desde suspensões grosseiras aos coloides, dependendo do grau de turbulência. A presença dessas partículas provoca a dispersão e a absorção da luz, dando à água uma aparência nebulosa, indesejável e potencialmente perigosa. Pode ser ocasionada por uma variedade de materiais: partículas de argila ou lodo, descarga de esgoto doméstico ou industrial (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

A turbidez pode ser definida como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido. A alteração à penetração da luz na água decorre na suspensão, sendo expressa por meio de unidades de turbidez (também

denominadas unidades de Jackson ou nefelométricas). Ao contrário da cor, que é causada por substâncias dissolvidas, a turbidez é provocada por partículas em suspensão, sendo, portanto, reduzida por sedimentação (BRASIL, 2014).

2.3.3 Sabor e odor

Os produtos que conferem odor ou sabor à água são usualmente originados da decomposição da matéria orgânica ou atividade biológica de microrganismos ou de fontes industriais. A detecção de sabor e odor e sua quantificação é bastante difícil pois depende da sensibilidade dos sentidos humano (MACEDO, 2001).

2.3.4 Potencial hidrogeniônico (pH)

O termo pH é usado universalmente para expressar a intensidade de uma condição ácida ou alcalina de uma solução. Mede a concentração do íon hidrogênio ou sua atividade, importante em cada fase do tratamento, sendo referido frequentemente na coagulação, floculação, desinfecção e no controle de corrosão (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

Alterações nos valores de pH também podem aumentar o efeito de substâncias químicas, que são tóxicas para os organismos aquáticos, tais como os metais pesados (ANA, 2020a).

2.3.5 Temperatura

A temperatura da água é o resultado da radiação solar que incide sobre o corpo hídrico. Esse parâmetro é bastante influente nas atividades biológicas, uma vez que, é determinante para o tipo de organismo que habita o local e para o crescimento do mesmo, isso por possuírem uma faixa de temperatura ideal para o seu desenvolvimento (DALL'AGNOL, 2015). Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), a temperatura da água tem importância por sua influência sobre a aceleração das reações químicas, redução da solubilidade dos gases, acentua a sensação de sabor e odor.

2.3.6 Condutividade elétrica

Segundo Macedo (2001), a condutividade elétrica da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. É a capacidade de a água transmitir a corrente elétrica. Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), a determinação da condutividade elétrica permite obter uma estimativa rápida do conteúdo de sólidos de uma amostra.

2.3.7 Alcalinidade

A alcalinidade resulta da presença de sais de ácidos fracos, carbonato, bicarbonato, hidróxidos e ocasionalmente, silicatos e fosfatos presente na água. A alcalinidade é normalmente encontrada nas águas sob a forma de carbonato ou bicarbonato. O seu significado sanitário está vinculado à alcalinidade cáustica, causada por íons hidróxidos, ou seja, é indesejável e é raramente encontrada em águas naturais. A quantificação da alcalinidade em uma água tem grande importância, pois se relaciona com o processo de coagulação com floculadores, que é uma das etapas do tratamento convencional da água, com a prevenção de incrustações e da corrosão de canalizações de ferro fundido (MACEDO, 2001).

2.3.8 Oxigênio dissolvido

A determinação do teor de oxigênio dissolvido é um dos ensaios mais importantes no controle de qualidade da água. O conteúdo de oxigênio nas águas superficiais depende de quantidade e tipo de matéria orgânica instáveis que a água contenha. A quantidade de oxigênio que a água pode conter é pequena, devido a sua baixa solubilidade. A presença de oxigênio na água, especialmente em companhia do dióxido de carbono, constitui-se em um significativo fator a ser considerado na prevenção da corrosão de metais ferrosos (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

Segundo Braga *et al*(2002), o oxigênio dissolvido é um dos constituintes mais importantes dos recursos hídricos. Embora não seja o único indicador de qualidade da água existente, é um dos mais usados, porque está diretamente relacionado com os tipos de organismos que podem sobreviver em um corpo de

água. Quando ausente, permite a existência de organismos anaeróbios que liberam substâncias que conferem odor, sabor e aspecto indesejável à água.

2.3.9 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Segundo Vesilind (2011), ainda mais importante que a determinação de oxigênio dissolvido seja a medição da taxa em que esse oxigênio é utilizado por microrganismos para decompor a matéria orgânica. A demanda por oxigênio para a decomposição de materiais puros pode ser estimada por meio da estequiometria, considerando que toda matéria orgânica seja decomposta e transformada em Dióxido de Carbono (CO_2) e água. A DBO é a medida da quantidade de oxigênio necessária para que bactérias e outros microrganismos aeróbios estabilizem matéria orgânica biodegradável. O teste de DBO padrão é realizado no escuro a 20°C por cinco dias, ele é então definido como DBO de cinco dias, DBO_5 , que é a quantidade de oxigênio utilizada em cinco dias.

Segundo Richter e Azevedo Netto(1991), a maioria dos compostos orgânicos são instáveis e podem ser oxidados biológica ou quimicamente, resultando compostos finais mais estáveis como o CO_2 , Nitrato (NO_3) e Hidrogênio (H_2). A matéria orgânica tem uma certa necessidade de oxigênio, denominada demanda, que pode ser:

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): é a medida de quantidade de oxigênio necessária ao metabolismo das bactérias aeróbias que destroem a matéria orgânica;
- Demanda Química de Oxigênio (DQO): permite a avaliação da carga de poluição de esgotos domésticos ou industriais em termos de quantidade de oxigênio necessária para a sua total oxidação em dióxidos de carbono e água.

Valores altos da DBO_5 em um corpo hídrico são ocasionados normalmente pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente por esgotos domésticos. Valores altos da DBO_5 causam a minimização dos valores de oxigênio dissolvido, provocando a mortandade de peixes e eliminação de outros organismos (ANA, 2020a).

2.3.10 Ferro e manganês

Conforme Macedo (2001), o ferro na maioria das vezes está associado ao manganês e confere a água um sabor amargo adstringente e coloração amarela e turva. Os sais ferrosos são bastante solúveis em água. São facilmente oxidados, formando os hidróxidos férricos, que tendem a flocular e a decantar.

2.3.11 Sólidos totais

Os sólidos totais são as matérias que permanecem na água após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra durante um determinado tempo e temperatura (ANA, 2020a).

Todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos presentes nos recursos hídricos. Sólidos podem ser classificados de acordo com seu tamanho e características químicas (MACEDO, 2001).

2.3.12 Nitrogênio

Segundo Richter e Azevedo Netto(1991), a quantidade de nitrogênio na água pode indicar uma poluição recente ou remota. Inclui-se nesse item o nitrogênio, sob as suas diversas formas compostas, orgânico, amoniacal, nitritos e nitratos. O nitrogênio segue um ciclo desde o organismo vivo até a mineralização total, está sob a forma de nitratos, sendo assim possível avaliar o grau e a distância de uma poluição pela concentração e pela forma do composto nitrogenado presente na água. Por exemplo, águas com predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal são poluídas por uma descarga de esgoto próxima. Águas com concentração de nitratos predominantes indicam uma poluição remota, porque os nitratos são o produto final de oxidação do nitrogênio.

Pelo fato dos compostos de nitrogênio serem nutrientes nos processos biológicos, seu lançamento em grandes quantidades nos corpos d'água, junto com outros nutrientes, tais como o fósforo, causa um crescimento excessivo das algas, processo conhecido como eutrofização, o que pode prejudicar o abastecimento público, a recreação e a preservação da vida aquática. As fontes de nitrogênio para os corpos d'água são variadas, sendo uma das principais o lançamento de esgotos sanitários e efluentes industriais. Em áreas agrícolas, o escoamento da água das

chuvas em solos que receberam fertilizantes também é uma fonte de nitrogênio, assim como a drenagem de águas pluviais em áreas urbanas (ANA, 2020a).

2.3.13 Fósforo

O fósforo se apresenta na água de várias formas, a principal forma encontrada é o polifosfato e fósforo orgânico. O fósforo é um elemento indispensável no crescimento de algas e quando em grandes quantidades, pode levar a um processo de eutrofização de um recurso hídrico. É também o nutriente essencial para o crescimento de bactérias responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (MACEDO, 2001).

Entre as fontes de fósforo destacam-se os esgotos domésticos, pela presença dos detergentes superfosfatados e da própria matéria fecal. A drenagem pluvial de áreas agrícolas e urbanas também é uma fonte significativa de fósforo para os corpos d'água. Entre os efluentes industriais destacam-se os das indústrias de fertilizantes, alimentícias, laticínios, frigoríficos e abatedouros (ANA, 2020a).

2.3.14 Coliformes Termotolerantes

As bactérias coliformes termotolerantes ocorrem no trato intestinal de animais de sangue quente e são indicadoras de poluição por esgotos domésticos. Elas não são patogênicas (não causam doenças), mas sua presença em grandes números indicam a possibilidade da existência de microrganismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, como disenteria bacilar, febre tifoide e cólera (ANA, 2020a).

2.4 LEGISLAÇÕES PERTINENTES

2.4.1 Resolução CONAMA nº 357/2005

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução nº 357 de 17 de março de 2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de águas doces, salobra e salgadas e define as diretrizes ambientais para seu enquadramento (BRASIL, 2005).

Ademais, classifica os corpos hídricos em 13 (treze) classes de uso conforme a qualidade requerida para os usos preponderantes. Para as águas doces, o CONAMA estabelece:

a) Classe Especial: destinada ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção e preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;

b) Classe 1: destinada ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, proteção das comunidades aquáticas, a recreação, a irrigação de hortaliças consumidas cruas;

c) Classe 2: destinada ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas, a recreação, a irrigação de hortaliças, frutíferas, parques e jardins e a aquicultura ou atividade pesqueira;

d) Classe 3: destinada ao abastecimento para consumo humano, após tratamento avançado, a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, a pesca amadora, a recreação de contato secundário e dessedentação de animais;

e) Classe 4: destinada a navegação e à harmonia paisagística.

Ainda segundo o que determina a resolução do CONAMA nº 357/05 em seu artigo 42 “enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas de Classe 2, as salinas e as salobras de Classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente” (BRASIL, 2005). Para água doce enquadrada na Classe Especial, na Classe 1 e na Classe 2, a Resolução n. 357/05 CONAMA, estabelece como condição de qualidade a não verificação de efeito tóxico crônico (BRASIL, 2005).

Os padrões de qualidade para corpos d'água doce são descritos na Tabela 01, apresentando os VMP referentes aos padrões de qualidade requeridos pela Resolução CONAMA nº 357/05.

Tabela 01– Padrões de qualidade para corpos d'água doce conforme Resolução CONAMA nº 357/05

Parâmetro	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
pH	-	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Cor	uH	Natural	75	75	-
Turbidez	UNT	40	100	100	-
Sólidos totais	Mg/L	500	500	500	-
DBO ₅	Mg/L	3	5	10	-
OD	Mg/L	≥6	≥5	≥4	≥2
Ferro dissolvido	mgF/L	0,3	0,3	0,5	-
Manganês	mgMn/L	0,1	-	0,5	-
Sulfato total	mg/L SO ₄	250	250	250	-
Coliformes	UFC/100ML	≤200	≤1000	≤1000	-
Nitrogênio (pH≤7,5)	mgN/L	3,7	3,7	13,3	-
Nitrogênio (7,5<pH≤8,0)	mgN/L	2,0	2,0	5,6	-
Nitrogênio (8,0<pH≤8,5)	mgN/L	1,0	1,0	2,2	-
Nitrogênio (pH>8,5)	mgN/L	0,5	0,5	1,0	-
Fósforo total(ambiente lêntico)	mgP/L	0,02	0,03	0,05	-
Fósforo (ambiente intermediário e tributários diretos de ambiente lêntico)	mgP/L	0,025	0,05	0,075	-
Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	mgP/L	0,10	0,10	0,15	-

Fonte: Modificado de Resolução CONAMA nº 357/2005

2.4.2 Portaria de Consolidação nº 5/2017

Para que a água seja considerada potável é necessário que os parâmetros físico-químicos e microbiológicos estejam de acordo com a Portaria de Consolidação n. 5, de 28 de setembro de 2017, em seu Anexo XX disciplina sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Através da referida Portaria, foram definidos os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Define-se então:

I. Água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem;

II. Água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido neste Anexo e que não ofereça riscos à saúde;

III. Padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano;

IV. Padrão organoléptico: conjunto de parâmetros caracterizados por provocar estímulos sensoriais que afetam a aceitação para consumo humano, mas que não necessariamente implicam risco à saúde;

V. Água tratada: água submetida a processos físicos, químicos ou combinação destes, visando atender ao padrão de potabilidade;

VI. Sistema de abastecimento de água para consumo humano: instalação composta por 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 rede de distribuição.

Os parâmetros de potabilidade requeridos pela lei mencionada são apresentados na Tabela 02.

Tabela 02- Padrões de potabilidade conforme a Portaria de Consolidação nº 5/2017

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido (VMP)
Cor	uH	15
pH	-	6,0 – 9,0
Dureza	mg/L	500

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido (VMP)
Ferro	mg/L	0,3
Gosto e Odor	Intensidade	6
Manganês	mg/L	0,1
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1000
Sulfato	mg/L	250
Turbidez	uT	5
Cloro residual livre	mg/L	2,00

Fonte: Modificado de Portaria da Consolidação nº 5/2017

2.4.3 Lei nº 11.445/2007

A Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Foi concebida de forma a abrigar todas as formas legalmente possíveis de organização institucional dos serviços de saneamento básico, coerente com as múltiplas realidades sociais, ambientais e econômicas do Brasil, determinando como pontos fundamentais para a gestão de serviços o planejamento, regulação, fiscalização e controle social.

Além disso, a lei define saneamento básico como o conjunto de quatro serviços públicos: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, drenagem urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos (coleta e disposição final do lixo urbano). Ademais, estabelece que o saneamento básico deve ser objeto de planejamento integrado, cuja elaboração o titular pode receber cooperação de outros entes da Federação e mesmo de prestadores dos serviços.

2.5 TRATAMENTO DE ÁGUA

De acordo com Barros *et al* (1995), o tratamento de água tem por objetivo condicionar as características da água bruta, isto é, da água como encontrada na natureza, a fim de atender à qualidade necessária a um determinado uso. A água a ser utilizada para o abastecimento público deve ter sua qualidade ajustada de forma a:

- Atender aos padrões de qualidade exigidos pelo Ministério da Saúde e aceitos internacionalmente;

- Prevenir o aparecimento de doenças de veiculação hídrica, protegendo a saúde da população;
- Tornar a água adequada a serviços domésticos.

Ainda segundo Barros *et al* (1995), o tratamento da água pode ser parcial ou completo, de acordo com a análise prévia de suas características físicas, químicas e biológicas. O tratamento coletivo é efetuado na ETA, onde passa por diversos processos de depuração.

Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), a qualidade de determinada água é avaliada por um conjunto de parâmetros determinados por uma série de análises físicas, químicas e biológicas. A qualidade da água está sujeita a inúmeros fatores, podendo apresentar uma grande variação no decorrer do tempo, e só pode ser suficientemente conhecida através de uma série de análises, que abranja as diversas estações do ano.

Segundo Pádua (2009), o tratamento da água envolve o emprego de diferentes operações e processos unitários para adequar a água de diferentes mananciais aos padrões de qualidade definidos pelos órgãos de saúde e agências reguladoras. As exigências de qualidade da água evoluíram e prosseguem, em processo contínuo, acompanhando os avanços do conhecimento técnico e científico. Os padrões de qualidade tornam-se gradativamente mais exigentes.

Muitos aquíferos e fontes de água superficiais isoladas possuem água de boa qualidade que pode ser bombeada a partir da rede de suprimentos e distribuição direta para atender a uma variedade de tipos de utilização, inclusive, consumo humano, irrigação, processos industriais e controle de incêndios. No entanto, tais fontes de água limpa são a exceção à regra, particularmente em regiões com alta densidade demográfica ou que apresentam alta concentração de produção agrícola. Neste caso, o fornecimento de água deve receber diferentes níveis de tratamento antes da distribuição (VESILIND, 2011).

Segundo Richter e Azevedo Netto(1991), os serviços públicos de abastecimento devem fornecer sempre água de boa qualidade. A necessidade de tratamento e os processos exigidos deverão ser determinados com base nas inspeções sanitárias e nos resultados representativos de exames e análises, cobrindo um período determinado de tempo.

A seleção do tipo de tratamento a ser aplicado à água de abastecimento depende de uma série de critérios que envolvem fatores ambientais, econômicos,

técnicos e às vezes até fatores socioculturais interferem nessa escolha. Dentre os critérios técnicos-ambientais, o conhecimento das características da água bruta é de extrema importância. Relacionar e quantificar os tipos de concentrações de possíveis contaminantes presentes na água é necessário para avaliar a capacidade do sistema de tratamento adequar esta água para o consumo humano (ALMEIDA,2009).

2.5.1 Coagulação

A coagulação é o mecanismo que tem como objetivo desestabilizar as partículas em suspensão, facilitando a sua aglomeração. Os mecanismos físico-químicos utilizados, tendo em conta o coagulante escolhido, podem ser por compressão da camada dupla, adsorção e neutralização de carga, aprisionamento das partículas num precipitado ou ainda por adsorção e formação de pontes entre as partículas. Em função do tipo de processo de clarificação da água, os reagentes de coagulação podem-se classificar como coagulantes, alcalinizantes ou adjuvantes. Os coagulantes atuam de forma a desestabilizar as partículas em suspensão, podendo a sua origem ser inorgânica, como os sais metálicos, orgânica como os polieletrólitos, ou natural. Os sais de alumínio e ferro são os compostos mais utilizados atualmente nas estações de tratamento, sob a forma de Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) ou Sulfato Ferroso ($FeSO_4$) (RIBEIRO, 2010).

A coagulação química, a qual é realizada normalmente através da adição de sais de alumínio ou ferro, é considerada a etapa de maior importância no tratamento de água com filtros rápidos, procedidos ou não de decantadores ou flutadores. Esta operação é resultado da reação do coagulante com a água, formando espécies hidrolisada com carga positiva, e do contato dessas impurezas. Assim, a força iônica do meio é alterada, permitindo que partículas se aproximem e se juntem, formando flocos que podem ser removidos através de sedimentação, flotação e filtração (RIBEIRO, 2010).

A coagulação da água bruta geralmente é realizada com sal de alumínio ou de ferro no mecanismo de varredura, no qual ocorre a formação predominante de precipitados do metal coagulante, que aprisionam as impurezas. Esse processo ocorre na unidade de mistura rápida, a qual pode ser hidráulica ou mecanizada, dependendo da vazão a ser tratada, da variação da qualidade da água bruta e

principalmente das condições disponíveis para operação e manutenção (GONÇALVES *et al*, 1997).

2.5.2 Floculação

A floculação promove a colisão entre as partículas desestabilizadas, favorecendo a sua agregação em flocos de grande dimensão que sedimentam mais facilmente por gravidade. Para isso, a mistura deve ser lenta, porém, intensa, de forma a ser capaz de favorecer o contato entre as partículas e conseqüentemente a sua aglomeração em flocos de maiores dimensões. Os valores de tempo para a etapa de floculação variam entre 15 a 45 minutos, e o gradiente de velocidade entre 10 a 60 s⁻¹ (RIBEIRO, 2010).

Segundo Richter e Azevedo Netto(1991), a formação de flocos pode ocorrer por dois mecanismos: floculação pericínética, quando o movimento das partículas é causado pelo movimento browniano e; floculação ortocínética, quando por gradientes de velocidade gerados na água por seu movimento (floculação hidráulica) ou por agitadores mecanizados (floculação mecânica).

2.5.3 Decantação

O processo de sedimentação para a remoção de partículas sólidas em suspensão é um dos mais comuns no tratamento de água. Consiste na utilização das forças gravitacionais para separar partículas de densidade superior à da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. As partículas que não são removidas na sedimentação, sejam por seu pequeno tamanho ou por serem de densidade muito próxima à da água, deverão ser removidas na filtração (RICHTER; AZEVEDO NETTO, 1991).

Segundo Vesilind (2011), os decantadores funcionam porque a densidade dos sólidos excede a do líquido. A movimentação de uma partícula sólida em um fluido sob a força da gravidade é impulsionada por diversas variáveis, como:

- O tamanho da partícula;
- O formato da partícula;
- A densidade da partícula;
- A densidade do fluido;

- A viscosidade do fluido.

Ainda conforme Vesilind (2011), a razão pela qual a coagulação e floculação é tão importante na preparação das partículas para o decantador é por proporcionar resultar no aumento das partículas e alterações em sua densidade e formato.

2.5.4 Filtração

Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), a filtração é um processo de separação sólido-líquido, envolvendo fenômenos físicos, químicos e, às vezes, biológicos. Visa a remoção das impurezas da água por sua passagem através de um meio poroso. Quando a velocidade com que a água atravessa o leito filtrante é baixa, o filtro é denominado filtro lento. Quando é elevada, é denominado filtro rápido. Um filtro rápido consiste de uma camada de areia, ou, em alguns casos, de uma camada de um meio poroso mais grosso e menos denso colocado sobre a camada de areia, o que vai permitir a filtração a taxas ainda mais elevadas.

Os sólidos suspensos que escapam da floculação e das etapas de sedimentação são retidos nas partículas de areia do filtro, no qual é necessário realizar a limpeza do filtro. Essa limpeza é executada hidraulicamente através de um processo chamado retrolavagem ou de forma manual (VESILIND, 2011).

2.5.5 Desinfecção

A água deve ser desinfetada para destruir quaisquer organismos patogênicos que possam nela restar. Normalmente, a desinfecção é feita com cloro, que pode ser adquirido na forma líquida sob pressão, e liberado na água em forma de gás, utilizando um sistema de alimentação de cloro. O cloro dissolvido oxida materiais orgânicos, inclusive organismos patogênicos (VESILIND, 2011). Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), a desinfecção é necessária, porque não é possível assegurar a remoção total dos microrganismos pelos processos físico-químicos, usualmente utilizados no tratamento da água.

2.5.6 Fluoretação

A fluoretação é a adição controlada de um composto de flúor à água de abastecimento público com a finalidade de elevar a concentração do mesmo a um teor predeterminado e, desta forma, atuar no controle da cárie dentária. A fluoretação da água de abastecimento público representa uma das principais e mais importantes medidas de saúde pública, podendo ser considerada como o método de controle de cárie dentária mais efetivo, quando considerada a abrangência coletiva (RAMIRES; BUZALAF, 2007).

2.6 INDICADOR DE DESEMPENHO

De acordo com Santos (2004), a seleção criteriosa de indicadores auxilia na redução do número de parâmetros e medidas sobre o meio, diminuindo e norteando a amostragem, o que é de fundamental importância ao planejamento, em que o processo decisório requer agilidade e eficiência no emprego de recursos. O uso de indicadores geralmente está associado ao aprimoramento do banco de dados e à quantificação e simplificação da informação. Como ferramentas de auxílio à decisão, os indicadores são modelos de fácil interpretação da realidade, tornando mais simples a compreensão dos fenômenos. Outra atribuição dos indicadores é medir o avanço em direção a metas e objetivos, sendo muito úteis para a tomada de decisão de gestores e para a sociedade.

De forma geral, pode-se dizer que indicadores são parâmetros, ou funções derivadas, que têm a capacidade de descrever um “estado” ou uma “resposta” dos fenômenos que ocorrem em um meio. Quando um parâmetro é entendido como indicador, seu valor transcende o número ou a característica em si, adquirindo outro significado (SANTOS, 2004).

Segundo Achon (2008), os sistemas de tratamento de água devem atender critérios amplos de qualidade, seguindo padrões e legislações pertinentes. Assim, os gerentes desses sistemas devem estar atentos a diversas questões, considerando sempre a influência das etapas que compõem o sistema e podem ser divididas em: antes, durante e após o tratamento.

- Antes do tratamento: comprometimento dos mananciais, mananciais mais distantes exigem maior demanda de energia, infraestrutura para adução, bombeamento;

- Durante o tratamento: consumo de produtos químicos, controle operacional, perdas de água, consumo de energia e geração de resíduos;
- Após o tratamento: qualidade da água tratada, análises dos resíduos gerados e seu destino final.

Diante desse cenário, existe a necessidade de uma gestão que vise a eficiência e desempenho dos sistemas de tratamento de água para garantir a capacidade de produzir com qualidade, eficiência, baixo custo e minimizar os impactos ambientais negativos de todo o sistema de tratamento de água.

Os sistemas de tratamento de água, quando são construídos e operados inadequadamente, não são garantias de saúde para a população. Mesmo nos países desenvolvidos, há diversos exemplos de surtos de doenças transmitidas pela água, que ocorreram por falhas na operação ou na construção dos sistemas de abastecimento de água (TSUTIYA, 2006).

2.6.1 Sistemas de indicadores nacionais

No que tange aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, a utilização de indicadores permite a identificação dos setores que necessitam de melhoria e, até mesmo, a tomada de decisões entre possibilidades de investimento. Para as agências reguladoras, especificamente, os indicadores de desempenho também podem ser ferramentas úteis para prover uma estrutura consistente para comparar a performance dos regulados e identificar áreas que requerem melhorias, assim como para embasar a formulação de políticas para o setor, idealizando a perspectiva para integração do serviço de abastecimento de água, investimentos, desenvolvimento de ferramentas de regulação e provimento de informações de monitoramento chave para resguardar o interesse dos usuários (HAMDAN, 2016).

Nacionalmente existem três principais provedores de informações relativas ao saneamento, sendo eles o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), a Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR) e a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB).

2.6.1.1 Sistema Nacional de Informação sobre o Saneamento (SNIS)

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento foi criado em 1996 pelo Governo Federal com o intuito de coletar informações sobre os serviços correlatos ao saneamento em todo o Brasil. Segundo Brasil (2019), as informações constantes do SNIS são fornecidas pelos prestadores dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, compostos por companhias estaduais, empresas e autarquias municipais, empresas privadas e, em muitos casos, pelas próprias prefeituras, por meio de suas secretarias ou departamentos. Os dados são atualizados anualmente para uma amostra de prestadores de serviços no Brasil, desde o ano-base de 1995.

Desde 1995, o SNIS transformou-se no maior e mais importante banco de dados do setor de saneamento no Brasil. Segundo Brasil (2019), dentre os principais objetivos do SNIS destacam-se:

- Planejamento e execução de políticas públicas;
- Orientação da aplicação de recursos;
- Conhecimento e avaliação do setor saneamento;
- Avaliação de desempenho dos serviços;
- Aperfeiçoamento da gestão;
- Orientação de atividades regulatórias e de fiscalização;
- Exercício do controle social;
- O *benchmarking*¹ e guia de referência para medição de desempenho.

Nas esferas estadual e municipal esses dados contribuem para a regulação e a fiscalização da prestação de serviço e para a elevação dos níveis de eficiências e eficácia na gestão das entidades prestadoras de serviço, por meio do conhecimento de sua realidade, orientando investimentos, custos e tarifas, bem como incentivando a participação da sociedade no controle social, monitorando e avaliando os efeitos das políticas públicas (GALVÃO JÚNIOR, 2006).

2.6.1.2 Associação Brasileira de Agências de Regulação (ABAR)

A ABAR é uma entidade de direito privado, criada em 8 de abril de 1999, sob a forma de associação civil, sem fins lucrativos e apartidária, cujos associados

¹Processo de avaliação da empresa em relação à concorrência, por meio do qual incorpora os melhores desempenhos de outras empresas e/ou aperfeiçoa os seus próprios métodos.

são as agências de regulação do país, no plano federal, estadual e municipal (GALVÃO JÚNIOR, 2006).

O objetivo da ABAR é contribuir para o avanço e a consolidação das atividades de regulação em todo o Brasil, permitindo a troca de experiências, a promoção de critérios uniformes para problemas semelhantes e a preservação do interesse público amplo. A Associação também visa promover a mútua colaboração entre as associadas e os poderes públicos, na busca do aprimoramento da regulação e da capacidade técnica (PROENÇA; COSTA; MONTAGNER, 2006).

Ao longo dos anos, a ABAR tem investido na organização de congressos e encontros nacionais e internacionais, na promoção de estudos referentes à atividade regulatória e na realização de projetos de capacitação do corpo técnico das agências reguladoras. Na busca permanente por autonomia e independência de suas associadas, a defesa institucional das agências sempre foi um paradigma de luta para a ABAR. Assim, a formação e manutenção de grupos de entidades representativas de classes ou setores para ação política em defesa da regulação é prioridade (PROENÇA; COSTA; MONTAGNER, 2006).

2.7 INDICADOR DE QUALIDADE

Os indicadores correspondem à unidade básica de medida de desempenho e o ponto de partida para avaliação do objeto em estudo. Apesar da importância nos sistemas de avaliação, não é possível encontrar na literatura enunciado único que expresse seu significado. Há diversas definições para o termo “indicador”. No presente trabalho será considerada a definição proposta pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD), segundo a qual “um indicador é um parâmetro, ou valor derivado de parâmetros, que aponta, fornece informações e/ou descreve o estado de um fenômeno, ambiente ou área com um significado que se estende além daquele diretamente associado ao seu valor” (OLIVEIRA, 2014, p.12).

Existem indicadores com diversas finalidade e objetivos, sendo assim Costa (2019), propôs uma metodologia na qual procurou avaliar comparativamente os indicadores da seguinte forma:

- Comparação da quantidade total de indicadores utilizados por cada associação;

- Identificação de indicadores de desempenho que se aplicam aos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário;
- Comparação das dimensões utilizadas por cada associação.

Nesse sentido, Costa (2019) propôs uma nova seleção a fim de classificar os Indicadores (ID) existentes, identificando aqueles indicadores mais coerentes à realidade operacional de uma ETA.

Segundo Costa (2019), um indicador de desempenho é, inevitavelmente, uma visão parcial da realidade de uma gestão, ou seja, este deve conter em si informações relevantes. Quando utilizado de maneira descontextualizada pode induzir interpretações equivocadas por parte do prestador de serviço. Faz-se necessária a análise de indicadores de desempenho em seu conjunto, havendo conhecimento de causa, e associados ao contexto em que estão inseridos.

Um dos principais pontos para o levantamento e seleção de indicadores é saber sua finalidade de utilização, sendo um dos principais objetivos desse trabalho a avaliação de desempenho de uma ETA. Nesse contexto, foi definido o indicador de qualidade conforme Von Sperling (2010) *apud* Costa (2019):

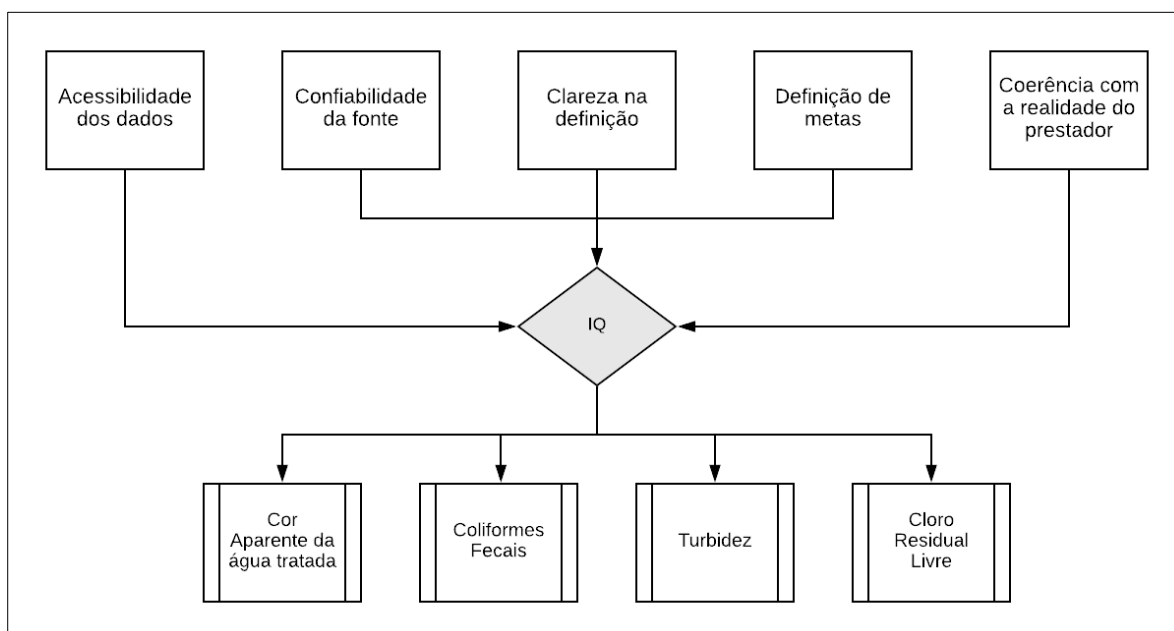
- Indicadores de Qualidade (IQ): avaliam o nível do serviço prestado aos usuários e ainda o desempenho da prestadora de serviço relativo ao atendimento à legislação vigente.

A metodologia proposta por Costa (2019), desenvolveu um indicador de desempenho que considera as principais anomalias existentes no processo de tratamento de água. Então considerou-se os seguintes critérios de seleção dos indicadores de desempenho:

- Acessibilidade dos dados: facilidade ao acesso dos dados primários para o cálculo do indicador;
- Confiabilidade da fonte: relacionada à exatidão e confiabilidade da medição dos dados primários do indicador;
- Clareza na definição: indicadores que possuem uma definição clara, evitando entendimentos ambíguos e, conseqüentemente, a utilização indevida;
- Definição de metas: análise da capacidade do indicador de permitir estabelecer metas a serem alcançadas;
- Coerência com a realidade do prestador: faz-se necessário analisar a coerência dos IDs analisados com a realidade operacional da ETA.

Sendo assim, Costa (2019) desenvolveu um indicador de qualidade baseado em quatro principais parâmetros conforme figura 01, onde são de extrema importância no sistema de tratamento de água e assim conseguem indicar falhas ou mau desempenho na estação em função da qualidade da água tratada. Os parâmetros desenvolvidos por Costa (2019) são citados nos próximos tópicos.

Figura 1- Fluxograma construção do IQ



Fonte: A autora (2020).

2.7.1 Percentual de amostra com Cor Aparente da água tratada inferior ou igual a 15uC

Segundo Costa (2019), a determinação da cor verdadeira possibilita a identificação da eficiência do processo de coagulação química e a diferença para a medida de cor aparente indica a parcela de cor referente às partículas suspensas e, também, se os processos de floculação, decantação e filtração apresentam resultados satisfatórios. Os parâmetros de cor aparente da água tratada e cor verdadeira devem propender a igualdade, dessemelhanças significativas podem ser subsequentes de problemas hidráulicos na ETA. Caso esses parâmetros propendam a igualdade, porém sejam identificados percentuais baixos de sucesso na remoção de cor, se constata deficiência na coagulação química ou, então na

tratabilidade da água afluenta à estação foi reduzida por algum motivo (despejos industriais, processos erosivos de encostas, dentre outros). A obtenção do valor do indicador é obtida através da Equação 1.

$$IQ1 = \frac{n^{\circ} \text{ de amostras com Cor Aparente} \leq 15uC}{\text{total de amostras}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

2.7.2 Percentual de amostras com ausência de Coliformes Fecais

Segundo a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, as amostras coletadas em qualquer ponto do sistema de abastecimento devem estar isentas da presença de Coliformes Fecais. A obtenção do valor do indicador é obtida através da Equação 2.

$$IQ2 = \frac{n^{\circ} \text{ de amostras com ausência de Coliformes Fecais}}{\text{total de amostras}} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

2.7.3 Percentual de amostras de água tratada com Turbidez inferior ou igual a 1,0uT

Segundo a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, as amostras de água tratada possuem um Valor Máximo Permitido (VMP) de 5uT, considerando Anexo 2 do Anexo XX da própria portaria, o VMP para a água coletada após filtração lenta é de 1,0uT em 95% das amostras. A turbidez elevada provoca a dispersão e a absorção da luz, dando à água uma aparência nebulosa, indesejável e potencialmente perigosa no âmbito microbiológico.

Segundo Costa (2019), o risco de um processo de desinfecção deficiente pode ser reduzido através da remoção de turbidez que atenda aos padrões de potabilidade exigidos, entretanto, a remoção deficitária da turbidez torna a água tratada suscetível, visto que a turbidez elevada potencializa o efeito escudo que impede que os microrganismos presentes nas partículas suspensas se acometam a ação do agente desinfetante. A obtenção do valor do indicador é obtida através da Equação 3.

$$IQ3 = \frac{n^{\circ} \text{ de amostras com turbidez} \leq 0,5uT}{\text{total de amostras}} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

2.7.4 Percentual de amostras com Cloro Residual Livre superior ou igual a 0,2mg/L e inferior ou igual a 2mg/L

Segundo a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, as amostras de água tratada coletadas devem constar presença de cloro residual livre. A aplicação da substância ocorre na etapa de desinfecção da água, com objetivo de remover os microrganismos presentes na água mesmo após os processos físico-químicos. A Portaria determina ainda o VMP de Cloro Residual Livre das amostras de água tratada coletadas no sistema de distribuição (reservatório e rede) de 2mg/L. e o valor mínimo deve ser de 0,2mg/L. A obtenção do valor do indicador é obtida através da Equação 4.

$$IQ4 = \frac{n^{\circ} \text{ de amostras com } CRL \geq \frac{0,2mg}{L} \text{ e } \leq \frac{2mg}{L}}{\text{total de amostras}} \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

2.7.5 Verificação de desempenho

Para verificação do desempenho do indicador foi desenvolvido por Costa (2019) um modelo no qual atribui pesos a cada parâmetro analisado, conforme descrito no item anterior. A atribuição de pesos reflete na pontuação obtida pela ETA a partir da aplicação do sistema de indicador. Os pesos atribuídos foram considerados conforme sua relevância quanto a influência dentro do processo de tratamento da água bruta.

Costa (2019) definiu pesos de 1 a 4, onde os valores maiores correspondem a parâmetros com uma influência negativa maior na qualidade final da água tratada. A Tabela 03 relaciona os pesos atribuídos aos parâmetros de qualidade.

Tabela 03- Relação de pesos atribuídos ao IQ

Parâmetros	Pesos atribuídos
Cor Aparente	1
Turbidez	2
Cloro Livre	3

Fonte: Costa (2019)

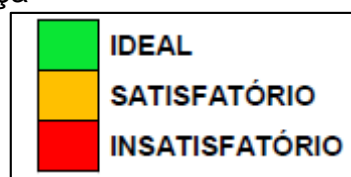
Dessa forma, o indicador de qualidade desenvolvido por Costa (2019) e adaptado para ETA de estudo, é descrito na Equação 5 abaixo, onde esse não tem vínculo com questões ambientais ou econômicas e sim pautado principalmente na Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, no qual delimita os padrões de potabilidade.

$$IQ = \frac{(IQ1 \times 1) + (IQ2 \times 4) + (IQ3 \times 2) + (IQ4 \times 3)}{10} \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Através do resultado obtido pela equação acima, pode-se indicar o desempenho da ETA e saber em quais pontos do tratamento são mais susceptíveis a falhas. Um mau desempenho da ETA acarreta perigo para a população que utiliza a água para consumo, pois a água é um grande vetor de transmissão de doenças caso não esteja dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos.

Para a verificação do desempenho, utilizou-se a matriz de confiança, tendo como base a metodologia utilizada pela Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento (ARIS). No método cada indicador de desempenho possui uma fórmula de cálculo, em que são evidenciadas todas as informações e dados necessários para a sua determinação e fins de comprovação, então como parte da metodologia de avaliação, indicou intervalos e limites quantitativos para cada um dos indicadores, os quais foram divididos em níveis distintos: “Ideal”, “Satisfatório” e “Insatisfatório”. Os níveis são representados por cores conforme figura 02, com objetivo de facilitar o entendimento da informação fornecida (ARIS, 2018).

Figura 02- Níveis de confiança



Fonte: Adaptado ARIS (2018)

Ideal:

- Conjunto imaginário de perfeições que não podem ter realização completa;

- A mais almejada das aspirações;
- Quimérico, fantástico, imaginário;
- Modelo, padrão.

Satisfatório:

- Que satisfaz. Regular, sofrível;
- Que corresponde ao que se espera: um resultado satisfatório;
- Suficiente, aceitável, agradável e lisonjeiro.

Insatisfatório:

- Que não satisfaz, que deixa a desejar;
- Insuficiente, ruim, fraco.

Definiu-se para ambos os indicadores de desempenho nos intervalos de referência conforme o apresentado na figura 03:

Figura 03 - Intervalos de referência

	IDEAL	> 90%
	SATISFATÓRIO	$\leq 90\%$; > 50%
	INSATISFATÓRIO	$\leq 50\%$

Fonte: Costa (2019)

3 METODOLOGIA

Em termos metodológicos, o presente estudo possui cunho descritivo, através da aplicação e avaliação de um indicador de desempenho em uma ETA. O indicador adotado é referente ao modelo desenvolvido por Costa (2019), que foi classificado através de um estudo exploratório de outros indicadores já existentes. A referida classificação teve como intuito desenvolver um indicador que contenha parâmetros eficazes e práticos para avaliar uma ETA. Os parâmetros constituintes foram avaliados conforme seu grau de importância, confiabilidade e praticidade dentro de uma ETA.

Segundo Andrade (2007), a pesquisa descritiva visa observar, registrar, analisar, classificar e interpretar os dados sem interferência, sem manipulação do pesquisador. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coletas de dados como questionários e observações sistemáticas. Assume em geral a forma de levantamento.

Quanto a natureza da pesquisa, a mesma é definida como aplicada. Segundo Cervo e Bervian (2002), a pesquisa aplicada tem como objetivo a produção de conhecimento que tenham aplicação prática e dirigidos à solução de problemas reais específicos, envolvendo verdades e interesses locais.

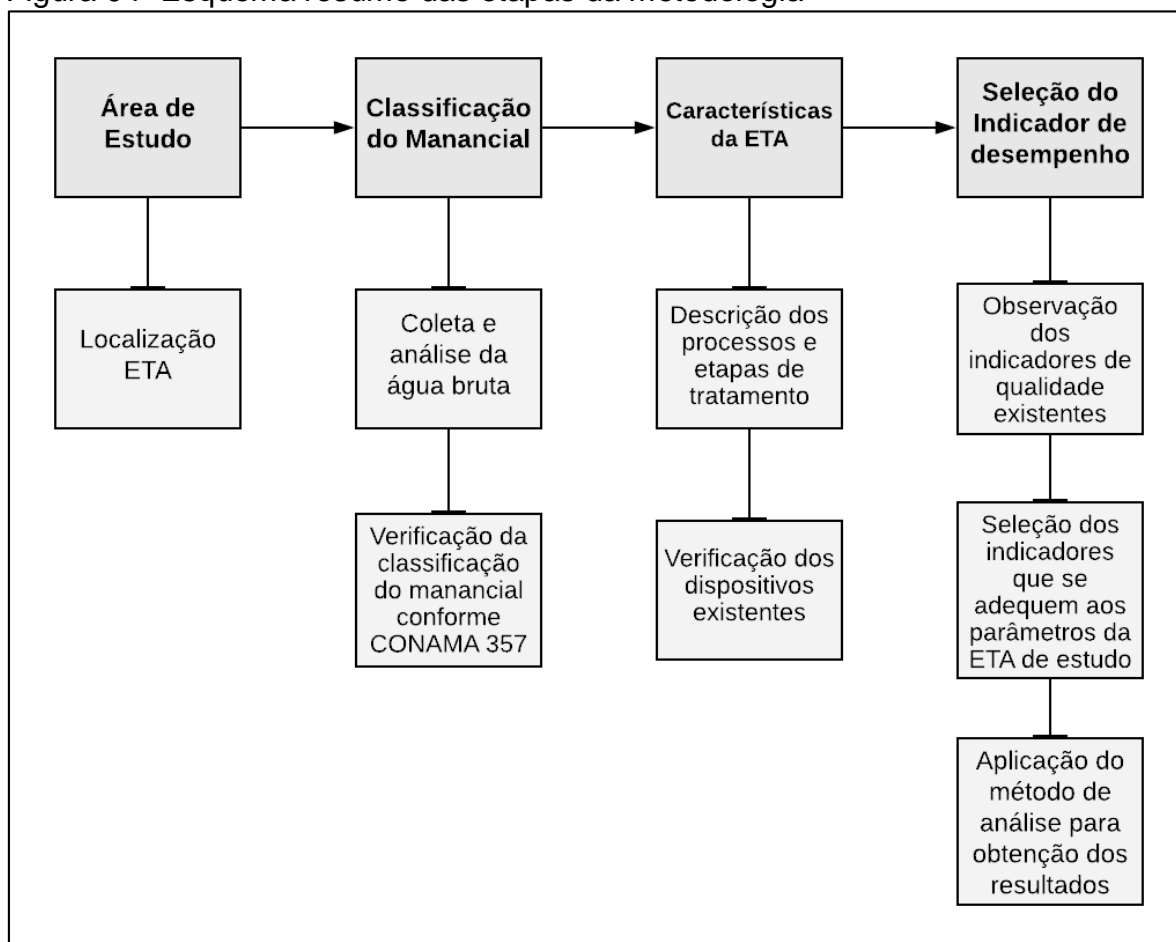
Referente a forma da abordagem do problema, cuja resposta que se deseja buscar é uma pesquisa quantitativa, que segundo Andrade (2007), refere-se a uma pesquisa que traduz em números as informações, utilizando técnicas estatísticas para serem classificadas e analisadas, pois seu objeto de estudo pode ser quantificado.

Segundo Gil (2007), a pesquisa científica é de vital importância para o meio acadêmico, pois é por meio dela que os estudos são desenvolvidos e permitem aos envolvidos uma maior compreensão sobre uma situação pouco ou nada conhecida ou compreendida.

Com a finalidade de atingir os objetivos propostos, o estudo foi realizado na ETA do município de Araranguá - SC, sendo o Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMA E) a autarquia responsável pelo abastecimento público de água do Município. Os estudos iniciaram-se com a descrição e classificação do manancial que a ETA utiliza para captação de água. Posteriormente, aplicaram-se os indicadores selecionados para avaliar o desempenho da estação e, por fim, os

resultados foram coletados objetivando a realização do diagnóstico para posterior proposição de alternativas de melhoria caso deficiências fossem encontradas no processo. As etapas de metodologia são apresentadas resumidamente através de um esquema explicativo (Figura 044).

Figura 04- Esquema resumo das etapas da metodologia



Fonte: A autora (2020)

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Araranguá - SC está localizado no sul do estado de Santa Catarina, inserido na mesorregião Associação dos Municípios do Extremo Sul Catarinense (AMESC). Segundo o Censo 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município possui uma população de 61.310 habitantes e uma estimativa de 68.228 habitantes para o ano de 2019. Constitui uma área territorial de 303,160 km², apresenta 77,5% de esgotamento sanitário adequado e está inserido no bioma Mata Atlântica.

A ETA na qual foi realizado o estudo encontra-se localizada no bairro Lagoa da Serra no município de Araranguá - SC. A captação da água bruta é realizada na Lagoa da Serra, a vazão média de saída de água correspondente a água tratada é de 90 L/s, e o tempo médio diário de funcionamento da estação é de 20 horas. O tratamento da água realizado corresponde ao processo convencional de tratamento de água para abastecimento.

3.1.1 Descrição e classificação do manancial

Para obter a classificação do manancial de estudo, utilizou-se como parâmetro a legislação do CONAMA, no uso de atribuições e por meio da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, que “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências” (BRASIL, 2005). Tal resolução considera ainda “que o enquadramento dos corpos de água deve estar fundamentado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que devem possuir para atender às necessidades da comunidade” (BRASIL, 2005).

Para realizar o diagnóstico da qualidade da água se faz necessário amostrar a água e realizar o levantamento das condições físico-química da água do manancial de captação. De acordo com Tsutiya (2006), os mananciais de um modo geral, vem sofrendo degradações em suas bacias hidrográfica, principalmente devido ao avanço da malha urbana com desenvolvimento ordenado associado à carência de coleta e tratamento de esgoto. Com isso, aumenta a deterioração da qualidade da água bruta, para casos mais graves há necessidade de tratamento avançado das águas ou até mesmo a inviabilidade da utilização do manancial para abastecimento. Dessa forma, no presente trabalho foram utilizados os resultados das amostras referente a análise da água bruta realizado pela empresa, e assim observado, a partir do valor das concentrações registradas dos parâmetros de qualidade, o enquadramento do manancial segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005.

Utilizaram-se os dados amostrais da empresa do mês de janeiro, fevereiro, abril, maio e junho de 2020, sendo que a técnica responsável faz captação da água bruta uma vez no mês. Não foi inserido o mês de março pois não ocorreu

amostra em decorrência da pandemia do COVID-19. Considerando os dados disponibilizados pela empresa nos últimos cinco meses, foi definida a média de cada parâmetro nesse período e, a partir dos resultados obtidos, observado o enquadramento da classe do manancial de acordo com a legislação vigente.

3.1.2 Características da Estação de Tratamento de Água (ETA)

As ETA são de extrema importância nos grandes e pequenos municípios, visto que os sistemas de abastecimento de água tratada favorecem a redução da disseminação de doenças infecciosas. Ademais, de maneira geral, dentre os vários usos da água, o abastecimento humano é o mais nobre e prioritário pois, é de vital importância para sobrevivência.

A água potável é aquela que possui qualidades adequadas para o consumo humano atendendo os padrões estabelecidos por legislações. Dificilmente a água oriunda do manancial é potável, em decorrência da presença de impurezas, sendo então de extrema importância o tratamento da água, principalmente para o abastecimento doméstico e industriais, pois apresentam requisitos de qualidades mais exigentes.

O tratamento da água tem como principal objetivo adequar as características da água bruta, oriunda do manancial, a fim de atender os padrões de qualidade de água estabelecidos por legislação referente ao seu determinado uso.

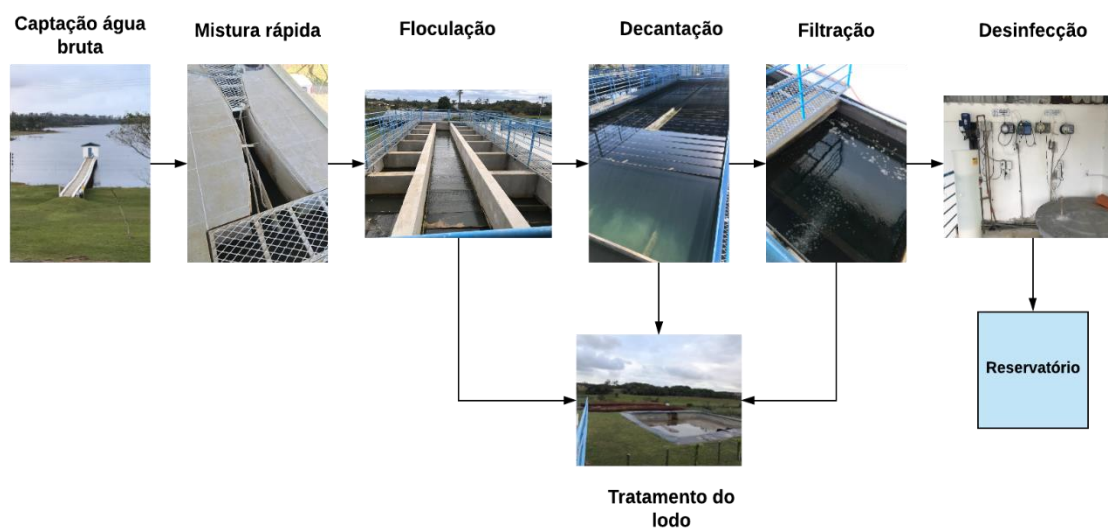
A análise das características da ETA de estudo, considerando as etapas de tratamento, foi realizada com visitas in loco com o suporte de materiais visuais coletados através de registros fotográficos. O procedimento também contou com o auxílio da descrição do sistema por operadores e técnicos funcionários da empresa.

3.1.3 Dispositivos operacionais da ETA

As definições dos processos adotados em uma ETA vão depender da qualidade do manancial, pois através do tipo de impurezas presentes na água bruta pode-se melhor planejar o tipo de tratamento, buscando o que é mais eficaz conforme a classe da água. A ETA de estudo refere-se basicamente ao tratamento completo da água, sendo do tipo convencional. A ETA, foco de estudo, é

responsável por abastecer mais de 60 % do município, sendo seu sistema de tratamento descrito na Figura 055.

Figura 05- Fluxograma do sistema operacional da ETA



Fonte: A autora (2020)

Prosseguiu-se o desenvolvimento da metodologia com a descrição dos equipamentos que compõe a ETA, através de visitas que propiciaram a análise de forma visual, além das orientações e informações técnicas disponibilizadas pelo operador responsável pelo funcionamento do sistema de tratamento.

Com o objetivo de observar principalmente o estado de deterioração, tempo de uso e limitações dos equipamentos, a análise permitiu elencar os pontos que possuem maior susceptibilidade de falhas ou mau desempenho, para assim direcionar a aplicação do indicador visando uma resposta, quanto ao desempenho do processo de tratamento, e assim propor melhorias caso necessário.

3.1.4 Seleção e aplicação do indicador de desempenho

Os indicadores podem ser utilizados em diversas áreas do conhecimento, desde o setor primário, para a escolha dos melhores defensivos agrícolas, como na prestação de serviços, incluindo os de abastecimento de água e esgotamento sanitário. De maneira geral, os indicadores de desempenho são provedores de informações-chave, as quais são primordiais para definição da eficiência e efetividade em qualquer atividade (HAMDAN, 2016).

Inicialmente foi realizado um levantamento dos sistemas de indicadores de desempenho já existentes no Brasil, previamente citados no referencial teórico. Através da pesquisa utilizou-se como método, o comparativo proposto por Costa (2019) em que se utilizou o exame comparativo em dois níveis: do confronto das características e objetivos de cada associação em estudo e comparação entre os indicadores de desempenho utilizados.

Com base nos resultados obtidos a partir de análises e diagnóstico do sistema, foi realizada a seleção dos indicadores que foram aplicados na presente pesquisa.

3.1.4.1 Indicador de Qualidade (IQ)

A estação de tratamento de estudo é do tipo convencional, e os indicadores de qualidade selecionados foram escolhidos por indicarem referências pontuais no desempenho da ETA. Considerando a metodologia proposta por Costa (2019), descrito no Tópico 2.7 do referencial teórico, e adaptando a ETA de estudo, foram considerados os seguintes indicadores:

- Percentual de amostras com cor aparente da água tratada inferior ou igual a 15uC;
- Percentual de amostras com ausência de coliformes fecais;
- Percentual de amostras de água tratada com turbidez inferior ou igual a 1,0uT;
- Percentual de amostras com cloro residual livre superior ou igual a 0,2mg/L e inferior ou igual a 2mg/L;

3.1.5 Verificação de desempenho

Nessa etapa foram levantados os dados necessários para verificação do desempenho da ETA, como descrito no Tópico 2.7.5 do referencial teórico. A construção do IQ foi baseada nas análises realizadas, buscando elencar os dados que compõem a estrutura da ETA de estudo. Ao final elaborou-se o indicador que mais se adequou aos pontos levantados pelas análises descritivas.

3.1.6 Deficiências e proposição de soluções

Após a aplicação do indicador de desempenho desenvolvido para a ETA de estudo, realizou-se a análise dos resultados obtidos. Posteriormente foi verificada a necessidade, ou não, de uma proposta de melhoria conforme o resultado final do desempenho da ETA.

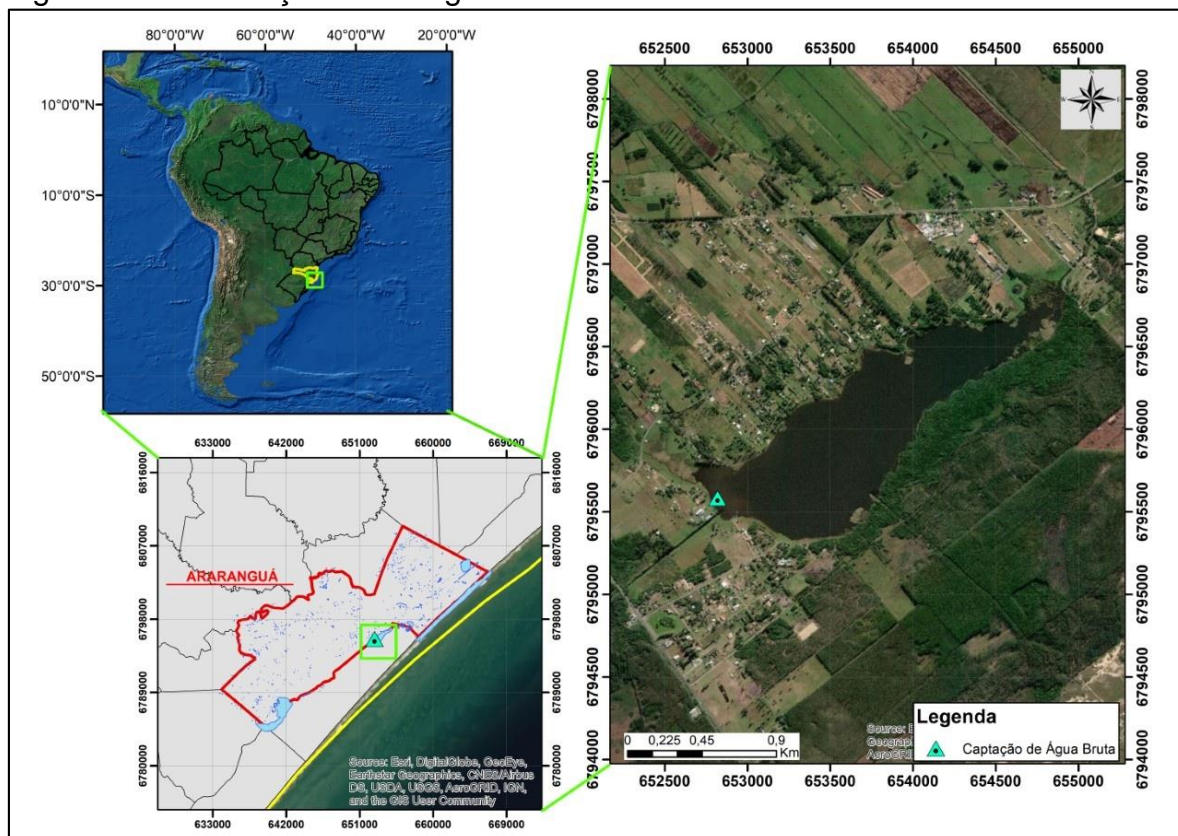
4 RESULTADOS

4.1 DESCRIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO MANANCIAL

Atualmente existem cinco estações de tratamento de água no município de estudo, de responsabilidade do SAMAE. A ETA I está localizada no bairro Morro dos Conventos; a ETA II corresponde a ETA de estudo, localizada na Lagoa da Serra; a ETA III corresponde a estação de captação de água do açude Belizoni, no centro da cidade; a ETA IV está localizada no bairro de Ilhas, responsável por abastecer a população local, assim como a ETA V, localizada no Bairro Espigão da Pedra.

A captação da ETA de estudo é realizada na Lagoa da Serra, na qual possui uma área de 9km². A Figura 066 apresenta a localização da Lagoa dentro do município e o local de captação da água bruta.

Figura 06- Localização ETA Lagoa da Serra



Fonte: A autora (2020)

A empresa realiza coletas mensais referentes a água bruta, sendo geralmente na última semana do mês. A Tabela 04 apresenta os registros das

coletas de água bruta e seus respectivos resultados, sendo que para o parâmetro de coliformes não foram registrado os valores pela empresa.

Tabela 04- Análises mensais da água bruta

Parâmetro	Unidade	Janeiro	Fevereiro	Abril	Maior	Junho
pH	-	7,2	7,25	6,26	7,66	6,96
Cor	uH	140	122	194	202	136
Turbidez	UNT	9,74	7,29	18,9	22,6	16,3
Ferro dissolvido	mgF/L	0,055	0,55	0,131	0,002	0,35
Manganês	mgMn/L	0,77	0,047	0,48	0,39	0,047
Alumínio	Mg/L	0,054	0,059	0,063	0,05	0,035

Fonte: A autora (2020)

Os testes referentes aos parâmetros foram realizados no laboratório localizado na ETA III, pela técnica química responsável. Através dos resultados obtidos, foi elaborada a Tabela 05, correspondente à média aritmética dos parâmetros e o respectivo desvio padrão (Dv) nos cinco meses.

Tabela 05- Média parâmetros água bruta e desvio padrão

Parâmetro	Unidade	Média	±Dv
Ph	-	7,06	±0,51
Cor	uH	158	±36,51
Turbidez	UNT	14,96	±6,35
Ferro dissolvido	mgF/L	0,21	±0,22
Manganês	mgMn/L	0,34	±0,30
Alumínio	Mg/L	0,05	±0,01

Fonte: A autora (2020)

Considerando a Resolução CONAMA nº 357/2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de águas doces, salobra e salgadas e define as diretrizes ambientais para seu enquadramento, no qual é mencionado no referencial teórico (tópico 2.4.1), o manancial de captação da ETA de estudo se enquadra na Classe 2, que é destinado ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas, a recreação, a irrigação de hortaliças, frutíferas, parques e jardins e a aquicultura ou atividade pesqueira.

4.2 CARACTERÍSTICA DA ETA

O tratamento realizado na ETA de estudo corresponde ao tratamento convencional para abastecimento de água.

A água captada é bombeada para a mistura rápida, onde é adicionado sulfato de alumínio. Posteriormente, ocorre o processo de coagulação e floculação com a agregação das partículas, cujo objetivo é a formação de flocos. Na próxima etapa, que é a decantação, ocorre o processo de sedimentação das partículas. As partículas não removidas nas etapas anteriores ficam retidas na etapa de filtração. Logo após, a água é encaminhada para o processo de desinfecção, onde ocorre a remoção dos organismos patogênicos. Após passar por todas essas etapas de tratamento, a água então é encaminhada até os reservatórios, e é distribuída para abastecimento.

4.3 DISPOSITIVOS OPERACIONAIS DA ETA

4.3.1 Captação de água bruta

A captação de água é um conjunto de equipamentos e instalações utilizados para a tomada de água do manancial, com a finalidade de lançá-la no sistema de abastecimento. O tipo de captação varia de acordo com o manancial. A ETA de estudo realiza a captação em um manancial de superfície.

A qualidade da água bruta varia conforme alguns fatores, sendo os principais decorrentes das chuvas e ventos. Segundo o operador responsável pela ETA esses fatores influenciam na turbidez e na cor da água.

A casa de bomba (Figura 07), responsável pela captação da água, é constituída por cinco bombas de funcionamento, que nem sempre são ligadas ao mesmo tempo, variando conforme o consumo da população e da água disponível no reservatório. Cada bomba possui uma vazão de captação específica, sendo a vazão total de captação da água bruta disponível de 191 L/s ou 687m³/h. Possui uma média de 20h diárias de funcionamento, onde esse quantitativo de horas depende de fatores de consumo e da água disponível no reservatório.

Figura 07- Casa de bomba



Fonte: A autora (2020)

4.3.2 Coagulação

Após a captação da água bruta ocorre o bombeamento da mesma através da adutora e, assim, inicia o processo de tratamento da água. A água então passa pela Calha Parshall, dispositivo de mistura rápida (Figura 08), iniciando a etapa de coagulação, no qual é adicionado o agente coagulante sulfato de alumínio e o alcalinizante cal hidratada. Os parâmetros de alcalinidade e pH influenciam no processo de coagulação. A cor é mais facilmente removida em pH ácido. A turbidez, ao contrário, é normalmente removida sob condições alcalinas.

A coagulação tem por objetivo transformar as impurezas que se encontram em suspensão fina, estado coloidal e dissolvidas, em partículas que possam ser removidas por decantação (sedimentação) e filtração.

Figura 08- Etapa de mistura rápida e coagulação



Fonte: A autora (2020)

4.3.3 Floculação

A floculação e a coagulação são processos físico-químicos de interação entre as impurezas que estão presentes na água e os agentes químicos utilizados para remover essas substâncias.

A floculação (Figura 09) ocorre após a coagulação em tanques denominados floculadores. A ETA possui 3 câmaras, com as seguintes dimensões: 20 metros de comprimento, 1,50 metro de largura e 4,50 metros de altura. Essa etapa recebe as partículas desestabilizadas da etapa anterior. Na floculação é adicionado um polímero auxiliar com objetivo de promover maior aglutinação das partículas para formar flocos densos. Os floculadores são do tipo hidráulicos com fluxo vertical. Nessa etapa, a agitação da água vai diminuindo gradualmente, de forma a possibilitar a formação dos flocos e esses não serem destruídos pela agitação intensa da água nem se depositarem no fundo por uma agitação muito lenta, o objetivo é aumentar a ocorrência de choques entre as partículas e elas ficarem mais densas, para então serem removidas nas próximas etapas de decantação e filtração.

Figura 09- Etapa de floculação



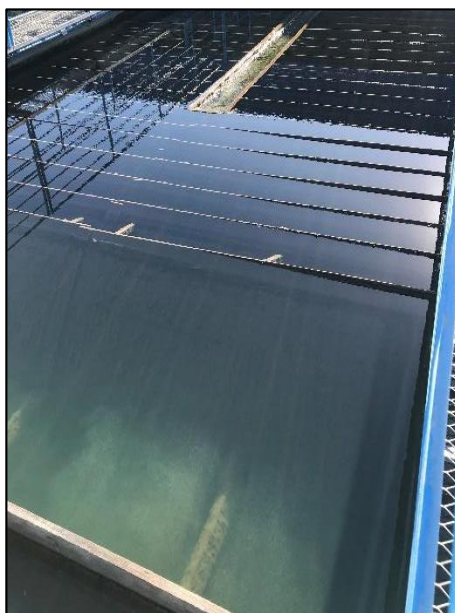
Fonte: A autora (2020)

4.3.4 Decantação

Após a etapa de floculação, a água é então encaminhada para a etapa de decantação. Os decantadores (Figura 10) são do tipo vertical de escoamento fluxo laminar (placas paralelas). A ETA possui 4 unidades de decantação com 16 metros de comprimento, 06 metros de largura e 3,60 metros de altura.

A decantação é o processo de separação sólido-líquido que tem como força propulsora a ação da gravidade. O fundo do decantador é inclinado para facilitar a descarga. A remoção do lodo ocorre a cada 60 dias, realizado de forma manual com jateamento de água. Com a acumulação do lodo é necessária a lavagem do decantador, pois pode começar a ocorrer a putrefação que desprende gases, os quais provocam odor e sabor na água efluente da estação. A decantação é o preparo para a filtração, quanto melhor for a decantação, melhor será a filtração.

Figura 010- Etapa de decantação



Fonte: A autora (2020)

4.3.5 Filtração

A etapa de filtração (Figura 11) é projetada para efetuar a remoção das partículas residuais em suspensão que não foram retidas na decantação. A configuração do filtro do presente estudo é do tipo convencional, com filtração descendente, possui camada filtrante tripla na qual é constituída de areia, carvão ativado e cascalho. A lavagem do filtro é realizada todos os dias de forma manual pelo operador. O jato de água é colocado no sentido inverso do fluxo que o filtro realiza. Existem oito unidades de filtros operando de forma simultânea, possuem comprimento de 2,50 metros, largura 2,50 metros e uma altura de 3,50 metros. Logo após o processo de filtração a água segue para etapa de desinfecção.

Figura 11- Etapa de filtração



Fonte: A autora (2020)

4.3.6 Desinfecção

Após a filtração, a água já se encontra num aspecto mais limpo, porém precisa passar pela desinfecção para atender aos requisitos de cloro residual livre requerido pela legislação antes de ser encaminhada para a cisterna no qual vai distribuir para a rede de abastecimento.

A desinfecção, Figura 12, ocorre para remover os organismos patogênicos. O agente desinfetante adicionado é o hipoclorito de sódio. A desinfecção tem caráter corretivo e preventivo, considerando que a água pode ser contaminada ao longo do percurso até o consumo.

Figura 12- Etapa de desinfecção



Fonte: A autora (2020)

Logo após a desinfecção e antes da água ser encaminhada para os reservatórios, na caixa de correção, é necessário fazer a correção do pH e adição do flúor. A correção do pH é um método preventivo da corrosão do encanamento. A fluoretação da água para consumo humano é uma medida preventiva de comprovada eficácia, que reduz a prevalência de cárie dental entre 50% e 65%. O produto utilizado é Fluossilicato de Sódio.

4.3.7 Tratamento do lodo

O processo de tratamento de água é de extrema importância para a população. O sistema convencional utilizado pela ETA de estudo realiza a remoção de partículas em suspensão, através da adição de coagulantes, que tem como constituição principal sais de alumínio, que formam flocos e assim são removidos na etapa de decantação e nos filtros. No processo então é gerado resíduos, tanto na etapa de decantação como filtração, assim como nas lavagens dos mesmos. Sendo assim, o lodo possui uma determinada composição devido a qualidade da água bruta e principalmente dos produtos químicos utilizados no tratamento. Sendo então de suma importância que exista o tratamento adequado desse resíduo gerado durante todo o sistema de tratamento da água.

A ETA possui um sistema de tratamento do lodo,

Figura 133, onde o lodo é encaminhado para a lagoa de decantação. Antes do resíduo entrar na lagoa de decantação é adicionado um polímero, com objetivo de decantar os poluentes sólidos existentes. Após o tratamento do lodo a água oriunda do processo retorna para o manancial de captação, o lodo é coletado por uma empresa terceirizada e encaminhado para aterro sanitário.

Figura 13- Tratamento lodo



Fonte: A autora (2020)

4.4 APLICAÇÃO DO INDICADOR

Para obter os resultados dos percentuais (descrito no item 3.1.4.1 da metodologia), foram disponibilizados pela empresa os dados referentes a análise da água tratada, no qual é realizada duas vezes na semana. Foram utilizados os dados do mês de janeiro, fevereiro, abril, maio e junho de 2020, dos parâmetros de Cor Aparente, Coliformes Fecais, Turbidez e Cloro Residual Livre.

4.4.1 Percentual de amostra com Cor Aparente da água tratada a 15uC

Os dados disponibilizados estão representados nas Tabelas 06, 07, 08, 09 e 10, considerando as oito amostras para cada mês e já inserindo as amostras que possuem cor aparente menor ou igual que 15uC.

Tabela 06- Amostras de água tratada Cor Aparente mês de janeiro 2020

Amostras	Resultado Cor Aparente (uC)	Amostra com Cor Aparente \leq 15uC
1	5	1
2	1	1
3	4	1
4	1	1
5	3	1
6	7	1
7	9	1
8	9	1
Total		8

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Tabela 07- Amostras de água tratada Cor Aparente mês de fevereiro 2020

Amostras	Resultado Cor Aparente (uC)	Amostra com Cor Aparente \leq 15uC
1	10	1
2	7	1
3	1	1
4	8	1
5	3	1
6	3	1
7	3	1
8	7	1
Total		8

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Tabela 08- Amostras de água tratada Cor Aparente mês de abril 2020

Amostras	Resultado Cor Aparente (uC)	Amostra com Cor Aparente \leq 15uC
1	6	1
2	2	1
3	7	1
4	10	1
5	11	1
6	4	1
7	7	1
8	2	1
Total		8

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Tabela 09- Amostras de água tratada Cor Aparente mês de maio 2020

Amostras	Resultado Cor Aparente (uC)	Amostra com Cor Aparente \leq 15uC
1	3	1
2	1	1
3	4	1
4	2	1
5	8	1
6	3	1
7	5	1
8	6	1
Total		8

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Tabela 10- Amostras de água tratada Cor Aparente mês de junho

Amostras	Resultado Cor Aparente (uC)	Amostra com Cor Aparente $\leq 15uC$
1	5	1
2	5	1
3	4	1
4	15	1
5	9	1
6	10	1
7	3	1
8	3	1
Total		8

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Sendo então um número total de 40 amostras no período de 5 meses, desse total de amostra não tem registro de amostra com Cor aparente superior a 15uC. Então a equação abaixo refere-se ao cálculo do percentual de amostras com cor aparente inferior a 15uC.

$$IQ1 = \frac{n^{\circ} \text{ de amostras com Cor Aparente} \leq 15uC}{\text{total de amostras}} \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde,

- N° de amostra com Cor Aparente <15uC = 40
- Total de amostras = 40

Então,

$$IQ1 = \frac{40}{40} \times 100$$

$$IQ1 = 100\%$$

O percentual obtido na equação corresponde a uma eficiência na remoção das partículas suspensas nos processos de coagulação química, floculação, decantação e filtração. Segundo Brasil (2014), a cor é resultado de resíduos de origem mineral ou vegetal, causadas por substâncias como ferro ou manganês, matéria orgânica ou por resíduos orgânicos proveniente de indústrias. A remoção da cor é importante para o parâmetro estético da água e principalmente para a questão da saúde da população abastecida.

4.4.2 Percentual de amostras com ausência de Coliformes Fecais

Para todas as amostras de água tratada, submetidas a análise laboratorial, os resultados demonstraram a ausência de Coliformes Fecais, um total de 40 amostras no período de 5 meses.

$$IQ2 = \frac{n^{\circ} \text{ de amostras com ausência de Coliformes Fecais}}{\text{total de amostras}} \times 100 \quad (\text{Equação 7})$$

Onde,

- N^o de amostra com Coliformes Fecais = 40
- Total de amostras = 40

Então,

$$IQ2 = \frac{40}{40} \times 100$$

$$IQ2 = 100\%$$

O resultado obtido é de extrema importância no processo de tratamento de água, sendo um indicador de desempenho que preconizado pela Portaria de Consolidação nº 5 de 2017. Segundo Brasil (2014), a presença de Coliformes Fecais na água indica a existência de microrganismos patogênicos, que são responsáveis por transmitir doenças e assim ocasionando risco a saúde da população abastecida pela ETA.

4.4.3 Percentual de amostras de água tratada com Turbidez inferior ou igual a 1,0uT

As tabelas 11, 12, 13, 14 e 15 representam os dados registrados referente às amostras coletadas para Turbidez, do mês de janeiro, fevereiro, abril, maio e junho do ano de 2020. Nas Tabelas também constam os valores das amostras que registraram turbidez $\geq 1,0$ uT.

Tabela 11- Amostras de água tratada Turbidez mês de janeiro 2020

Amostras	Resultado Turbidez (uT)	Amostra com Turbidez $\leq 1,0uT$
1	0,83	1
2	0,38	1
3	1,26	-
4	0,55	1
5	0,53	1
6	0,62	1
7	0,81	1
8	0,82	1
Total		7

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Tabela 12- Amostras de água tratada Turbidez mês de fevereiro 2020

Amostras	Resultado Turbidez (uT)	Amostra com Turbidez $\leq 1,0uT$
1	0,57	1
2	0,60	1
3	0,6	1
4	0,95	1
5	1,14	-
6	0,63	1
7	0,47	1
8	0,75	1
Total		7

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Tabela 13- Amostras de água tratada Turbidez mês de abril 2020

Amostras	Resultado Turbidez (uT)	Amostra com Turbidez $\leq 1,0uT$
1	0,52	1
2	1,03	-
3	0,71	1
4	0,93	1
5	0,72	1
6	1,03	-
7	0,92	1
8	1,01	-
Total		5

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Tabela 14- Amostras de água tratada Turbidez mês de maio 2020

Amostras	Resultado Turbidez (uT)	Amostra com Turbidez $\leq 1,0uT$
1	0,79	1

Amostras	Resultado Turbidez (uT)	Amostra com Turbidez ≤ 1,0uT
2	0,82	1
3	0,67	1
4	0,95	1
5	0,64	1
6	0,78	1
7	0,63	1
8	1,42	-
Total		7

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Tabela 15- Amostras de água tratada Turbidez mês de junho 2020

Amostras	Resultado Turbidez (uT)	Amostra com Turbidez ≤ 1,0uT
1	0,78	1
2	1,43	-
3	1,40	-
4	2,62	-
5	1,32	-
6	1,34	-
7	1,33	-
8	1,05	-
Total		1

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Sendo então um número total de 40 amostras no período de 5 meses, onde 13 amostras apresentaram Turbidez superior ou igual a 1,0uT. O cálculo abaixo descreve o percentual registrado.

$$IQ3 = \frac{n^{\circ} \text{ de amostras com turbidez} \leq 1,0uT}{\text{total de amostras}} \times 100 \quad (\text{Equação 8})$$

Onde,

- N° de amostras com turbidez ≤ 1,0uT = 27
- Total de amostras = 40

$$IQ3 = \frac{27}{40} \times 100$$

$$IQ3 = 67,5\%$$

A turbidez é um indicador da presença de material em suspensão na água, que interferem na transparência da mesma. A turbidez assim como a cor está relacionada com a estética da água, assim como valores elevados afetam a eficiência do tratamento e alteram o sabor e odor da água. Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), a turbidez elevada ocasiona risco microbiológico a água, visto que a turbidez elevada potencializa o efeito escudo que impede que os microrganismos presentes nas partículas suspensas se acometam a ação do agente desinfetante. Sendo assim, o resultado obtido na equação IQ3 demonstra que a ETA possui eficiência na remoção da turbidez, sendo consequência de um bom desempenho nos processos de coagulação, floculação, decantação e filtração.

4.4.4 Percentual de amostras com Cloro Residual Livre superior ou igual a 0,2mg/L e inferior ou igual a 2mg/L

Os dados utilizados foram do mesmo período dos meses que foram citados nos tópicos anteriores, sendo que as Tabelas 16, 17, 18, 19 e 20 são os resultados registrado referente ao Cloro Residual Livre da água tratada da ETA de estudo.

Tabela 16- Amostras de água tratada Cloro Residual Livre mês de janeiro 2020

Amostras	Resultado Cloro Residual Livre (mg/L)	Amostra com Cloro Residual Livre $\geq 0,2\text{mg/L}$ e $\leq 2\text{mg/L}$
1	2,1	-
2	1,95	1
3	0,98	1
4	1,21	1
5	4,4	-
6	3,2	-
7	1,58	1
8	1,6	1
Total		5

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Tabela 17- Amostras de água tratada Cloro Residual Livre mês de fevereiro 2020

Amostras	Resultado Cloro Residual Livre (mg/L)	Amostra com Cloro Residual Livre $\geq 0,2\text{mg/L}$ e $\leq 2\text{mg/L}$
1	2,7	-
2	1,38	1

Amostras	Resultado Cloro Residual Livre (mg/L)	Amostra com Cloro Residual Livre $\geq 0,2\text{mg/L}$ e $\leq 2\text{mg/L}$
3	2,1	-
4	1,2	1
5	2,4	-
6	2,1	-
7	1,8	1
8	1,9	1
Total		4

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Tabela 18- Amostras de água tratada Cloro Residual Livre mês de abril 2020

Amostras	Resultado Cloro Residual Livre (mg/L)	Amostra com Cloro Residual Livre $\geq 0,2\text{mg/L}$ e $\leq 2\text{mg/L}$
1	1,9	1
2	1,98	1
3	1,7	1
4	1,99	1
5	2,0	1
6	1,9	1
7	2,6	-
8	1,2	1
Total		7

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Tabela 19- Amostras de água tratada Cloro Residual Livre mês de maio 2020

Amostras	Resultado Cloro Residual Livre (mg/L)	Amostra com Cloro Residual Livre $\geq 0,2\text{mg/L}$ e $\leq 2\text{mg/L}$
1	1,8	1
2	1,75	1
3	2,4	-
4	3,6	-
5	1,6	1
6	1,5	1
7	2,0	1
8	1,9	1
Total		6

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Tabela 20- Amostras de água tratada Cloro Residual Livre mês de junho 2020

Amostras	Resultado Cloro Residual Livre (mg/L)	Amostra com Cloro Residual Livre $\geq 0,2\text{mg/L}$ e $\leq 2\text{mg/L}$
1	2,6	-
2	2,12	-
3	2,5	-
4	1,94	1
5	2,1	-
6	2,1	-
7	1,9	1
8	2,1	-
Total		2

Fonte: Adaptado de SAMAE (2020)

Através do resultado, realizou-se o cálculo para se obter o percentual de amostras com Cloro Residual Livre $> 0,2 \text{ mg/L}$.

$$IQ4 = \frac{n^{\circ} \text{ de amostras com } CRL \geq 0,2 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ e } \leq \frac{2\text{mg}}{\text{L}}}{\text{total de amostras}} \times 100 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde,

- N° de amostras com $CRL \geq 0,2\text{mg/L}$ e $\leq 2\text{mg/L}$ = 24
- Total de amostras = 40

$$IQ4 = \frac{24}{40} \times 100$$

$$IQ4 = 60 \%$$

Sendo esse indicador, preconizado pela Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, de extrema importância que esteja dentro dos padrões estabelecidos para assegurar a eliminação de microrganismos patogênicos.

4.5 VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO

Através da metodologia explicada e aplicada, obtiveram-se os resultados dos cálculos aplicados. Os resultados são os percentuais dos parâmetros no qual constituíam o Indicador de Qualidade (IQ), sendo esses os percentuais das

amostras com Cor Aparente $\leq 15uC$, Turbidez $\leq 1,0uT$, Ausência de Coliformes Fecais e Cloro Residual Livre $\geq 0,2mg/L$ e $\leq 2mg/L$. A Tabela 21 descreve os resultados obtidos de cada parâmetro e descreve o peso atribuído a cada parâmetro conforme explicado no referencial teórico no Tópico 2.6.3.

Tabela 21- Resultados dos indicadores de cada parâmetro

Indicador	Resultados	Pesos atribuídos
IQ1	1	1
IQ2	1	4
IQ3	0,675	2
IQ4	0,6	3

Fonte: A autora (2020)

Dessa forma, o indicador de qualidade desenvolvido por Costa (2019), citado na metodologia é descrito na equação abaixo, em que esse não tem vínculo com questões ambientais ou econômicas e sim pautado principalmente conforme a Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, no qual delimita os padrões de potabilidade. Aplicando os resultados descrito na Tabela 21 na equação, obteve-se o valor do IQ.

$$IQ = \frac{(IQ1 \times 1) + (IQ2 \times 4) + (IQ3 \times 2) + (IQ4 \times 3)}{10} \times 100 \quad (\text{Equação 10})$$

$$IQ = \frac{(1 \times 1) + (1 \times 4) + (0,675 \times 2) + (0,6 \times 3)}{10} \times 100$$

$$IQ = \frac{8,15}{10} \times 100$$

$$IQ = 81,5\%$$

Conforme resultado obtido, pode-se observar através da matriz de níveis de confiança, descrita na metodologia, que é possível definir o indicador como Ideal, Satisfatório e Insatisfatório através de um intervalo de referência como mostra a Figura 144.

Figura 14- Intervalos de referência

	IDEAL	> 90%
	SATISFATÓRIO	≤ 90%; > 50%
	INSATISFATÓRIO	≤ 50%

Fonte: Costa (2019)

Através do resultado é possível definir a ETA de estudo como satisfatório, sendo o resultado final do IQ de 81,5%. No que se refere aos parâmetros de qualidade propostos pelo estudo, a estação apresentou percentuais satisfatórios, resultando em um percentual final dentro do intervalo de referência considerado satisfatório. Esse percentual é resultado de um sistema de tratamento de água com um desempenho considerado eficiente.

O resultado obtido indica que as etapas correspondente a remoção de turbidez e desinfecção da água, requerem uma melhoria, mesmo o resultado final ainda sendo satisfatório. Os indicadores de cor e coliformes fecais são considerados como ideias. Sendo assim, é necessário uma melhor regulação na adição do hipoclorito de sódio, pois algumas amostras registraram um limite excedido na quantidade de cloro residual livre da água tratada e isso é prejudicial à saúde da população abastecida. No que se refere a turbidez como mencionado nos resultados (tópico 4.3.1), a água bruta sofre mudança em seus parâmetros físicos, conforme algumas mudanças do tempo, como vento e chuva, os parâmetros que sofrem maior desestabilização são os de cor e turbidez. Então, deve-se atentar a ocorrência dessas mudanças e assim tomar a medidas na etapa de tratamento de água, com objetivo de remover cor e turbidez principalmente nas etapas de coagulação e floculação.

5 CONCLUSÃO

O indicador de qualidade se mostra como uma importante ferramenta para ser aplicado nos sistemas de abastecimento de água, uma vez que permitem identificar o desempenho no que se refere a qualidade da água. Esse se baseia nos parâmetros dos padrões de potabilidade estabelecido pela Portaria de Consolidação nº 5 de 2017.

No presente estudo, pode-se verificar que o manancial da ETA de estudo se enquadra como corpo de água doce de Classe 2, conforme resolução CONAMA nº 357/2005. Dessa maneira, a água proveniente desse corpo hídrico é destinada ao consumo humano após tratamento convencional.

A ETA se caracteriza pelo sistema de tratamento do tipo convencional, constituída dos sistemas de mistura rápida, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, possui também um sistema de tratamento do lodo. Ademais, observou-se que a configuração da ETA de estudo se enquadra ao tipo de tratamento requerido para a classe do manancial.

A etapa de aplicação do indicador de qualidade, revelou que a ETA tem um desempenho de qualidade satisfatório, no qual o intervalo de referência registrado para o IQ foi de 81,5%, desta maneira, sendo necessário a proposição de melhorias no sistema de desinfecção e na remoção de turbidez, pois foram os parâmetros que indicaram algumas amostras foram do limite estabelecido por legislação.

O sistema de indicador proposto para avaliação da qualidade da água tratada mostrou-se eficaz, uma vez que serviu como ferramenta de análise dos parâmetros mais significativos dentro do sistema de tratamento. O indicador pontua de maneira precisa os parâmetros em desacordo com os requisitos legais, apesar de não ter sido o caso do presente estudo no qual o sistema de tratamento se apresentou ideal.

Dessa maneira, a metodologia utilizada mostrou-se eficaz e confiável, uma vez que ela permite visualizar o desempenho de cada dispositivo, de forma isolada e geral da ETA, facilitando a identificação dos pontos propensos a melhorias ou identificar falhas. Fator esse que favorece os processos de monitoramento e tomada de decisões necessários a operação eficiente do sistema de tratamento.

REFERÊNCIAS

ACHON, Cali Laguna. **Ecoeficiência de sistemas de tratamento de água à luz dos conceitos da ISO 14.001**. 2008. 248 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual. Brasília: ANA, 2019. 100 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Indicadores de qualidade**: Índice de Qualidade das Águas (IQA) [online]. Portal da qualidade das águas. 2020a. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 25 maio 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Quantidade de água**[online]. 2020b. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>. Acesso em: 17 mar. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Água no Mundo** [online]. 2020c. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>. Acesso em: 17 mar. 2020.

AGÊNCIA REGULADORA INTERMUNICIPAL DE SANEAMENTO (ARIS). **Metodologia para avaliação de Indicadores de Desempenho**. Florianópolis: ARIS, 2018. 40 p.

ALMEIDA, Josélia Maria e Souza. **Otimização do índice de qualidade de estação convencional de tratamento de água (IQETA) por meio de análise estatística multivariada**. 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) -Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

ANDRADE, Maria Margarida de. **Introdução à metodologia do trabalho científico**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 160 p.

BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos *et al.* **Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios**. Monografia – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1995. 221 p.

BICUDO, Carlos E; TUNDISI, José Galizia; SCHEUENSTUHL, Marcos C. Barnsley. **Águas do Brasil**: análises estratégicas. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. 224 p.

BRAGA, Benedito *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2002. 305 p.

BRANCO, Otavio Eurico de Aquino. **Avaliação da disponibilidade hídrica**: conceitos e aplicabilidade. 2006. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de

Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, [s.l.], 2006.

BRASIL. **Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. **Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jan. 2007.

BRASIL. **Resolução Conama nº 410, de 04 de maio de 2009**. Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e no art. 3º da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 mai. 2009.

BRASIL. **Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010**. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 22 jun. 2010.

BRASIL. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília, 2011. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mai. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 2014. 112 p.

BRASIL. **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, DF, 2017.

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

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 242 p.

COSTA, Marianna Borges de Camargo. **Indicador de desempenho do processo de tratamento de água para consumo humano**. 2019. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária) -Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL), Palhoça, 2019.

DALL'AGNOL, Camila Dal Pont. **Avaliação da qualidade de recursos hídricos em reservatórios de abastecimento**: estudo de caso da barragem do Rio São Bento. 2015. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Ambiental) -Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Criciúma, 2015.

GALVÃO JÚNIOR, Alceu de Castro. **Regulação**: indicadores para a prestação de serviços de água e esgoto. 2.ed. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora Ltda.,2006.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GONÇALVES, Ricardo Franci *et al.* Influência dos mecanismos de coagulação da água bruta na reciclagem de coagulantes em lodos de estações de tratamento de água. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19., 1997, [s.i]. **Anais** [...]. Foz do Iguaçu: Abes, 1997. p. 1353-1366.

HAMDAN, Otávio Henrique Campos. **Avaliação de indicadores aplicados a sistemas de abastecimento de água em Minas Gerais segundo porte populacionais**. 2016. 139f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2016.

INSITITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICAS (IBGE) (org.). **Censo demográfico 2010** [online]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/ararangua/panorama>. Acesso em: 09 abr. 2020.

MACEDO, Jorge Antônio Barros de. **Águas & águas**. São Paulo: Livraria Varela, 2001. 505 p.

BRASIL. MMA. (org.). **Programa de água doce**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/agua/agua-doce>. Acesso em: 24 mar. 2020.

OLIVEIRA, Misael Dieimes de. **Desenvolvimento, aplicação e avaliação de sistema de indicadores de desempenho de estação de tratamento de água**. 2014. 156f. Dissertação (Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

PÁDUA, Valter Lúcio de (Coord.). **Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Abes, 2009. 392 p.

PROENÇA, Jadir Dias; COSTA, Patrícia Vieira da; MONTAGNER, Paula (Orgs). **Desafios da regulação no Brasil**. Brasília: ENAP, 2006. 342 p.

RAMIRES, Irene; BUZALAF, Marília Afonso Rabelo. A fluoretação da água de abastecimento público e seus benefícios no controle da cárie dentária: cinquenta

anos no Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 1057-1065, 2017.

RIBEIRO, Ana Teresa Alves. **Aplicação da moringa oleífera no tratamento de água para consumo humano**: remoção de poluentes por coagulação-floculação. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) –Faculdade de ENGENHARIA, Universidade de Porto, Porto, 2010.

RICHTER, Carlos A.; AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. **Tratamento de água**: tecnologia atualizada. São Paulo: Edgard Blucher, 1991. 332 p.

SANTOS, Rozely Ferreira dos. **Planejamento ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SEWELL, Granville H. **Administração e controle da qualidade ambiental**. São Paulo: EPU, 1978. 295 p.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 4. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA (UNESCO). **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2019**: não deixar ninguém para trás. 2019. 11 p.

VESILIND, P. Aarne; SUSAN, M. Morgan. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Tradução da 2ª ed. norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 435 p.