



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**LETÍCIA VIANA MOURÃO MARQUES**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO  
LOCALIZADAS NO ESTADO DO CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2020**

LETÍCIA VIANA MOURÃO MARQUES

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO  
LOCALIZADAS NO ESTADO DO CEARÁ**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva

Coorientadora: Dra. Érika de Almeida Sampaio Braga

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M319a Marques, Leticia Viana Mourão.  
Avaliação da qualidade da água de estações de tratamento localizadas no estado do Ceará / Leticia Viana Mourão Marques. – 2020.  
56 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2020.

Orientação: Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva.

Coorientação: Profa. Dra. Érika de Almeida Sampaio Braga.

1. Tratamento de água. 2. Consumo humano. 3. Potabilidade. 4. Estação de tratamento. I. Título.

CDD 628

---

LETÍCIA VIANA MOURÃO MARQUES

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO  
LOCALIZADAS NO ESTADO DO CEARÁ**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Érika de Almeida Sampaio Braga  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Mateus de Alencar Costa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Lilian e Juarez e minhas irmãs

Laís e Líria, pelo apoio e amor incondicional.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça das oportunidades que me foram dadas e por me guiar em todos os meus pequenos passos dados durante todos os anos dessa Graduação.

Aos meus pais, Juarez e Lilian, por acreditarem em mim e sempre me apoiarem, dando todo amor e suporte necessários. Toda a glória dessa conquista a vocês.

Às minhas irmãs Laís e Líria, e à minha prima Isabelle, que durante esses anos puderam acompanhar minha caminhada e me passaram tranquilidade, em forma de carinho, de que tudo daria certo. Amo vocês.

À minha tia, Maria do Socorro, por ter me acolhido, depositando sua confiança, amor e carinho, me incentivando e cuidando de mim como filha.

Aos meus avós, paternos e maternos (*in memoriam*), em especial à minha avó Maria da Conceição Viana, que durante o tempo em que estivemos juntas, me incentivou e acreditou no meu potencial, depositando palavras de carinho e compartilhando comigo sua incrível história de vida.

Ao meu namorado e amigo, Eduardo Apoliano, que durante toda a graduação me incentivou, me ensinou e me apoiou da forma mais incrível e linda, me dando forças pra continuar todos os dias. Eu não me imaginaria chegando até aqui sem você.

Aos meus colegas e amigos de faculdade, que tornaram essa caminhada mais alegre e leve. Em especial à Luisa Helena, Natália Alencar, Jade Muller, Lucas Maia, Rebecca Dias, Bruna Guilherme, Deiby Anne, Claudia Wieser, Petrucio Maia, Jedson Vieira, Valquíria Lima, Afonso de Almeida, José Luís Herculano, e vários outros que participaram comigo dessa jornada.

A todos os professores com quem tive a oportunidade de aprender, em especial aos professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, pela dedicação e principalmente pelo conhecimento transmitido ao longo do curso, indispensáveis para a minha formação profissional.

À Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – NUTEC, junto ao Laboratório de Química Ambiental – LQA, que possibilitaram a realização de meu estágio.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva pela disposição e atenção que me foi dada, e por toda sua colaboração para que eu chegasse ao final dessa etapa. Muito obrigada.

À minha coorientadora Dra. Érika de Almeida Sampaio Braga, que dedicou seu tempo e cuidados me orientando no estágio e na elaboração deste trabalho. Toda a minha admiração, carinho e gratidão.

Ao colega, mestrando e Engenheiro Ambiental Mateus de Alencar Costa pelo tempo dedicado, pelas valiosas colaborações e sugestões.

“A persistência é o caminho do êxito.”  
(Charlie Chaplin)

## RESUMO

A água é um recurso essencial para a manutenção da vida no planeta e deve estar disponível em qualidade adequada e em quantidade suficiente para atendimento das necessidades humanas, para a proteção da saúde e para o desenvolvimento de modo geral. Portanto, é necessário que a água destinada ao consumo humano atenda aos padrões de potabilidade conforme estabelecido na Portaria de Consolidação PRC nº 05, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde. Dessa forma, foram coletadas amostras de água de dezoito (18) Estações de Tratamento de Água – ETA, em todo o Estado do Ceará, distribuídas em suas 7 mesorregiões, nos meses de agosto a novembro de 2019. Foram feitas análises dos parâmetros turbidez, cor, pH, cloro residual livre, cloreto, fluoreto, coliformes totais - CT e *Escherichia coli*. Com base nos resultados obtidos verificou-se que, das dezoito (18) ETAs analisadas, apenas 6 ETAs atenderam ao padrão de potabilidade vigente para todos os parâmetros analisados, ou seja, 1/3 (33%) das ETAs analisadas. Apesar disso, ao final do tratamento, apenas 1 (uma) ETA obteve presença de CT, ou seja, todas as outras 17 ETAs obtiveram um bom resultado para os parâmetros microbiológicos, com ausência de CT e *E. coli*. Conclui-se, portanto, que a qualidade da água que está sendo distribuída, apresentou-se satisfatória, principalmente pela garantia da eficiência na desinfecção, que foi verificada nas 17 amostras que obtiveram bons resultados microbiológicos.

**Palavras-chave:** Tratamento de Água. Consumo Humano. Potabilidade. Estação de Tratamento.

## ABSTRACT

Water is an essential resource for the maintenance of life on the planet and must be available in adequate quality and in sufficient quantity to meet human needs, to protect health and for development in general. Therefore, it is necessary that the water destined for human consumption complies with the potability standards as established in the Consolidation Ordinance PRC n° 05, of September 28, 2017, of the Ministry of Health. Thus, water samples were collected from 18 Water Treatment - ETA, throughout the State of Ceará, distributed in its 7 mesoregions, from August to November 2019. Analyzes were made of the parameters turbidity, color, pH, free residual chlorine, chloride, fluoride, total coliforms and *Escherichia coli*. Based on the results obtained, it was found that, of the eighteen (18) ETAs analyzed, only 6 ETAs met the current potability standard, for all the parameters analyzed, that is, 1/3 (33%) of the analyzed ETAs. Despite this, at the end of the treatment, only 1 (one) ETA obtained the presence of CT, that is, all the other 17 ETAs obtained a good result for microbiological parameters, with the absence of CT and *E. coli*. It is concluded, therefore, that the quality of the water being distributed was satisfactory, mainly due to the guarantee of efficiency in disinfection, which was verified in the 17 samples that obtained good microbiological results.

**Keywords:** Water treatment. Human consumption. Potability. Treatment station.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Demandas de uso da água no Brasil em 2017 .....	18
Figura 2 - Unidades de um sistema de abastecimento de água .....	19
Figura 3 - Percentual de domicílios sem saneamento básico no Brasil e regiões, em 2010.....	20
Figura 4 - Percentual de sistemas de abastecimento de água (SAA) sem tratamento, no Brasil e regiões.....	21
Figura 5 - Percentual de pessoas na população total com renda domiciliar per capita inferior à linha de pobreza, no Brasil e nas regiões geográficas, 1999 e 2009 .....	22
Figura 6 - Taxa de internação por DRSAL, por 100 mil habitantes, no Brasil e nas regiões geográficas, de 2003 a 2013 .....	23
Figura 7- Técnicas mais usuais de tratamento de água .....	24
Figura 8 - Esquema em corte de uma ETA convencional.....	25
Figura 9 - ETA Guandu .....	25
Figura 10 - Mapa de Localização das ETAs.....	37
Figura 11 - Tabela de Padrão Microbiológico da Água para Consumo Humano.....	51

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Valores obtidos para Turbidez (NTU).....	42
Gráfico 2 - Valores obtidos para pH (25°C).....	45
Gráfico 3 - Valores obtidos para Cloro Residual Livre (Cl <sub>2</sub> ).....	46
Gráfico 4 - Valores obtidos para Cloretos (mgCl <sub>2</sub> ·L <sup>-1</sup> ).....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição das ETAs no Estado .....	36
Tabela 2 - Equipamentos, métodos e reagentes utilizados na análise dos parâmetros .....	39
Tabela 3 - Valores médios obtidos para as dezoito (18) ETAs analisadas (Agosto a Novembro de 2019) .....	41
Tabela 4 - Valores obtidos para Cor (uH) .....	43
Tabela 5 - Valores obtidos para Fluoretos (mgF-.L-1) .....	48
Tabela 6 - Resultados obtidos para Coliformes Totais e <i>Escherichia coli</i> .....	50

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
CT	Coliformes Totais
DRSAI	Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado
ETA	Estação de Tratamento de Água
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LQ	Limite de Quantificação
LQA	Laboratório de Química Ambiental
MS	Ministério da Saúde
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
NUTEC	Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
OMS	Organização Mundial da Saúde
pH	Potencial Hidrogeniônico
PRC	Portaria de Consolidação
SAA	Sistemas de Abastecimento de Água
SIH	Sistema de Informações Hospitalares
SISAGUA	Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
uH	Unidade Hazen
uT	Unidade de Turbidez
VMP	Valor Máximo Permitido

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>16</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 SANEAMENTO .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 USOS DA ÁGUA.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 ABASTECIMENTO HUMANO E SAÚDE.....</b>	<b>19</b>
<b>3.4 PRINCIPAIS PROCESSOS E OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....</b>	<b>23</b>
<b>3.4.1 Estação de Tratamento de Água e as Tecnologias usuais de Tratamento para Abastecimento Público .....</b>	<b>23</b>
3.4.1.1 Coagulação.....	26
3.4.1.2 Floculação.....	26
3.4.1.3 Decantação.....	27
3.4.1.4 Filtração.....	28
3.4.1.5 Desinfecção .....	29
3.4.1.6 Fluoretação e Estabilização Química .....	29
<b>3.5 PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO .....</b>	<b>30</b>
<b>3.5.1 Parâmetros Físico-Químicos.....</b>	<b>30</b>
3.5.1.1 Turbidez .....	30
3.5.1.2 Cor.....	31
3.5.1.3 pH.....	32
3.5.1.4 Cloro Residual Livre.....	32
3.5.1.5 Cloretos.....	33
3.5.1.6 Fluoretos.....	34
<b>3.5.2 Parâmetros Microbiológicos.....</b>	<b>34</b>
3.5.2.1 Coliformes Totais e <i>Escherichia coli</i> .....	34
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>36</b>
<b>4.2 MONITORAMENTO, COLETA E ARMAZENAMENTO DA ÁGUA.....</b>	<b>38</b>
<b>4.3 MÉTODOS EMPREGADOS NA ANÁLISE DOS PARÂMETROS .....</b>	<b>38</b>

<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
<b>5.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1.1 TURBIDEZ (NTU) .....</b>	<b>42</b>
<b>5.1.2 Cor aparente (mgPt-Co.L<sup>-1</sup>).....</b>	<b>43</b>
<b>5.1.3 Ph à 25°C.....</b>	<b>45</b>
<b>5.1.4 Cloro Residual Livre (mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>) .....</b>	<b>46</b>
<b>5.1.5 Cloretos (mgCl.L<sup>-1</sup>) .....</b>	<b>47</b>
<b>5.1.6 Fluoretos (mgF.L<sup>-1</sup>) .....</b>	<b>48</b>
<b>5.1.7 Coliformes Totais e Escherichia coli.....</b>	<b>50</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso de extrema importância para a manutenção da vida no planeta e deve estar disponível em qualidade e quantidade adequadas.

Evidências da relação da importância do saneamento para a saúde tiveram início na década de 1980. A partir desse período, passou a existir um conjunto maior e mais consistente de estudos epidemiológicos que avaliavam essa relação utilizando dados referentes à diminuição da ocorrência de doenças, em virtude de implantação de serviços de abastecimento de água e outras medidas de caráter sanitário (HELLER; PÁDUA, 2016).

Segundo Heller e Pádua (2016), é sabido que a disponibilidade da água na natureza tem sido insuficiente em muitas regiões do planeta por conta da demanda requerida e isso vem se agravando de forma crescente. Desse modo, as instalações de abastecimento devem fornecer água com qualidade, regularidade e de forma acessível para as pessoas.

Portanto, define-se como água potável toda água própria para o consumo, que atenda aos padrões de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde. A Portaria de Consolidação PRC nº 05, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde em seu anexo XX define os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2017).

A potabilização das águas naturais com a finalidade de serem consumidas tem como principal função a de adequar a água bruta aos padrões físicos, químicos e biológicos estabelecidos na Portaria de forma a tornar o efluente incapaz de trazer qualquer malefício para a população abastecida (LIBÂNIO, 2010).

O tratamento de água consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais, bem como de matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias que podem causar problemas à saúde das pessoas. A Estação de Tratamento de Água (ETA) apresenta diversos processos e operações unitárias que visam a adequação da água ao consumo. Essas operações podem variar em decorrência da caracterização da qualidade da água bruta, mas, basicamente, consistem em Coagulação, Floculação, Decantação, Filtração e Desinfecção.

É de extrema importância que haja um monitoramento dos parâmetros de caracterização da água pós-tratamento, de forma a assegurar sua qualidade, garantindo que o processo de tratamento esteja operando de forma segura e minimizando ao máximo os riscos ao consumidor.

Nesse contexto, o presente trabalho possui o intuito de avaliar a qualidade da água de ETAs localizadas no Estado do Ceará e verificar sua adequação com os padrões estabelecidos pela Portaria de Consolidação PRC nº 05, do Ministério da Saúde.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade da água de ETAs localizadas no Estado do Ceará, nos meses de agosto a novembro de 2019, analisando parâmetros físico-químicos e microbiológicos e verificar sua adequação com os padrões estabelecidos pela Portaria de Consolidação PRC nº 05, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Realizar análises dos parâmetros físico-químicos de Cloro Residual, Cloretos, Fluoreto, Cor, Turbidez e pH e dos parâmetros microbiológicos de Coliformes Totais e *Escherichia coli* da água tratada em 18 ETAs localizadas nas 7 mesorregiões do Estado do Ceará para o período de agosto a novembro de 2019;
- Verificar a adequação dos parâmetros com os padrões definidos pela Portaria de Consolidação PRC nº 05, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde.
- Discorrer sobre os possíveis efeitos da inadequação dos parâmetros com relação aos padrões de potabilidade para a saúde da população abastecida.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Saneamento**

De acordo com a Fundação Nacional de Saúde - FUNASA (2015) o conceito de saneamento vem sendo construído ao longo da história da humanidade, em função do avanço do conhecimento, das condições sociais e materiais de cada época, dentre outros. A noção de saneamento assume diferentes entendimentos em cada cultura, fruto da relação do homem com a natureza, de cada classe social, relacionando-se com condições materiais, nível de informação e conhecimento.

Segundo Heller e Pádua (2016), conforme definido pela Organização Mundial da Saúde, saneamento é entendido como o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que podem causar ou causam efeitos deletérios ao bem-estar físico, social ou mental.

Para saneamento ambiental a FUNASA (2007) faz a seguinte definição:

É o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar Salubridade Ambiental, por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural.

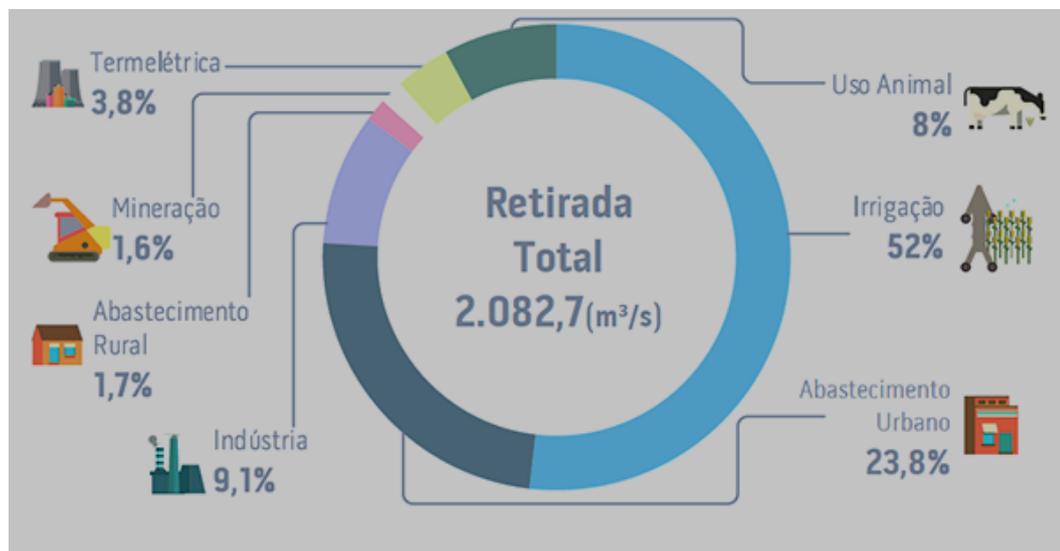
Portanto, a necessidade de água de qualidade adequada e em quantidade suficiente para atendimento das necessidades humanas, para a proteção da saúde e para o desenvolvimento de forma geral é imprescindível (FUNASA, 2015).

#### **3.2 Usos da Água**

Diversos usos da água são demandados pela população e pelas atividades econômicas, podendo ser definidos como usos consuntivos e não consuntivos. De acordo com o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, publicado pela Agência Nacional de Águas - ANA (2019), o uso é considerado consuntivo quando a água retirada é consumida parcialmente ou em sua totalidade, no processo no qual foi destinado, não retornando diretamente ao corpo d'água. O consumo pode ocorrer por evaporação, incorporação em produtos, transpiração, consumo pelos seres vivos, dentre outros. Usos que não afetam diretamente a quantidade de água local, embora dela dependam, são considerados usos não consuntivos, tais como lazer, pesca e navegação.

Os principais usos consuntivos da água no Brasil são o abastecimento humano (urbano e rural), o abastecimento animal, a irrigação, a indústria, as termelétricas, a mineração e a evaporação em reservatórios artificiais. Para cada uso são caracterizadas as vazões de retirada (volume total captado do manancial), de consumo (fração de retirada que não retorna ao manancial) e de retorno (fração da retirada que retorna ao manancial) (ANA, 2019). Na Figura 1 a seguir, são apresentados valores referentes às vazões de retirada.

Figura 1 - Demandas de uso da água no Brasil em 2017



Fonte: ANA, 2019.

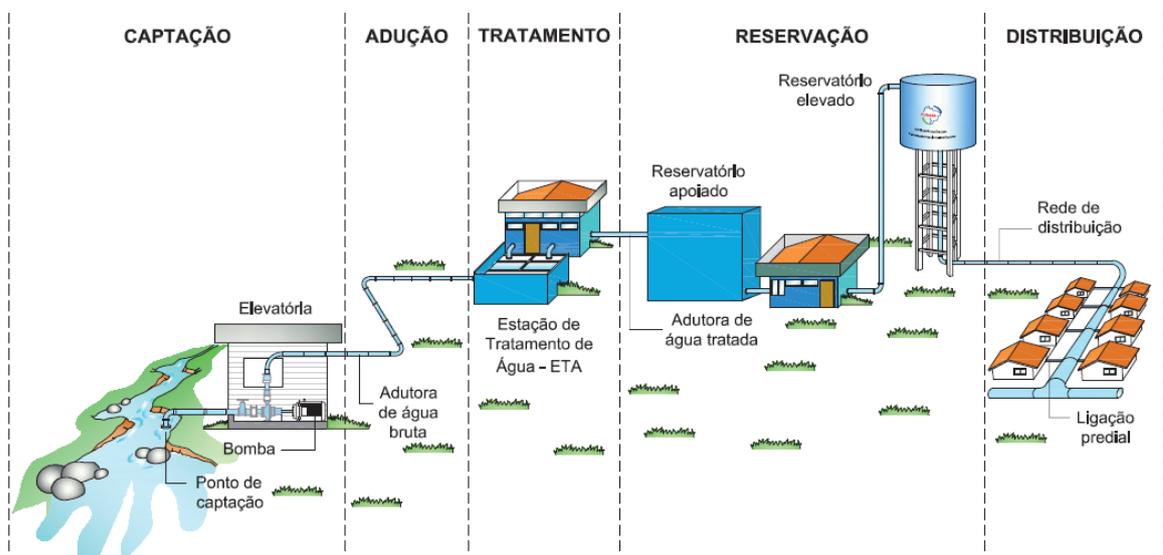
O abastecimento urbano e rural representam 25,5% das retiradas de água, ou seja 531,09 m³/s, enquanto a irrigação totaliza 52%, portanto, representando os maiores usos do País (ANA, 2019).

A demanda por água para consumo humano no Brasil está tendo um aumento crescente ao longo do tempo ocasionado por diversos fatores, dentre eles: o aumento acelerado da população nas últimas décadas, sobretudo nas áreas urbanas; o incremento da industrialização e; o aumento do volume de perdas em muitos sistemas de abastecimento (HELLER; PÁDUA, 2016).

### 3.3 Abastecimento Humano e Saúde

O sistema de abastecimento de água para consumo humano consiste em um dos componentes do saneamento básico e engloba um conjunto de infraestruturas, obras civis, materiais e equipamentos, desde a captação até as ligações prediais, que visam fornecer água potável à população por meio de uma rede de distribuição. Geralmente é composto pelas seguintes unidades: captação, adução, tratamento, reservação, rede de distribuição, estações elevatórias e ramal predial (FUNASA, 2015) ( Figura 2).

Figura 2 - Unidades de um sistema de abastecimento de água



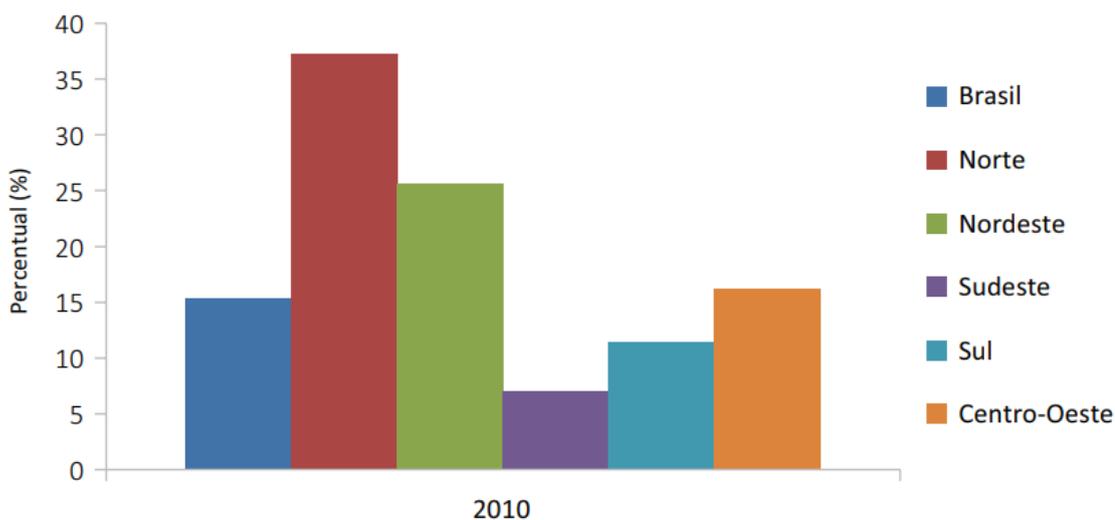
Fonte: FUNASA, 2015.

Para que a água potável chegue até as casas ela percorre um longo caminho, e é extremamente necessário e imprescindível que ela esteja de acordo com padrões de qualidade exigidos na legislação, de forma a evitar problemas de saúde. É sabido que existem diversos mecanismos de transmissão de doenças através da água contaminada, que podem ser causadas por fatores químicos, físicos e microbiológicos. Sabe-se, também, que as doenças de veiculação hídrica são causadas principalmente por microrganismos patogênicos de origem entérica, transmitidos basicamente por via fecal-oral, portanto, excretados nas fezes de indivíduos infectados e são ingeridos por outros indivíduos através da água ou alimentos poluídos com essas fezes (GRABOW, 1996, apud AMARAL, 2003). Alguns exemplos de microrganismos relacionados às doenças de veiculação hídrica são: *Escherichia coli*,

causadora de gastroenterite; *Salmonella typhi*, causadora da febre tifoide; *Vibrio cholerae*, causadora da cólera; *Cryptosporidium*, causador da Criptosporidiose; *Giardia lamblia*, causadora da Giardíase; entre outras (LIBÂNIO, 2010).

No País há um déficit de quase 10 milhões de domicílios sem acesso à água distribuída por rede geral, o equivalente a uma população maior que 40 milhões de habitantes, mais que 20% da população brasileira, que pode ser considerada vulnerável somente por esse quesito (IBGE, 2010, apud BRASIL, 2015). Além do abastecimento de água precário, há problemas em relação às condições de moradia. De acordo com o censo do IBGE de 2010, 11% dos domicílios urbanos possuem no seu entorno, esgoto a céu aberto, e 4,95% possuem resíduos sólidos acumulados. Ou seja, 27 milhões de pessoas no País estão expostas a condições precárias de saneamento. O não acesso ou o acesso precário de serviços básicos, tais como abastecimento de água, coleta e destino adequado de resíduos e esgoto, junto às condições precárias de moradia, acarretam no adoecimento dessas populações vulneráveis e impactam a morbimortalidade (incidência de doenças e óbitos numa população) por Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI) (RISI; NOGUEIRA, 2002, apud BRASIL, 2015). A Figura 3 mostra o percentual de domicílios sem abastecimento de água por rede geral, sem coleta de lixo e sem esgotamento sanitário, no Brasil e nas regiões geográficas, respectivamente:

Figura 3 - Percentual de domicílios sem saneamento básico no Brasil e regiões, em 2010

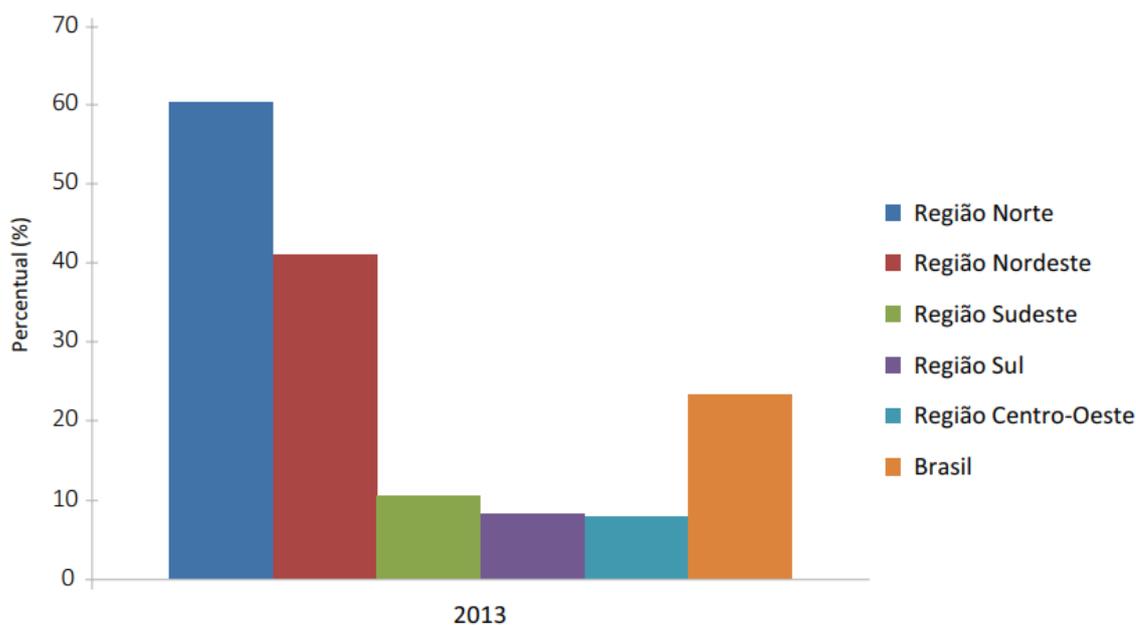


Fonte: IBGE, 2010, apud BRASIL, 2015.

Verifica-se que a média do País é de 15%. As regiões com maior precariedade nesses serviços são a Região Norte e a Região Nordeste, com 37,7% e 25%, respectivamente (BRASIL, 2015).

A vulnerabilidade das populações em locais sem abastecimento de água ou sem os demais componentes do saneamento básico é ampliada pela população que recebe água sem qualquer tipo de tratamento. De acordo com dados do Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA), pelo menos 23% dos sistemas de abastecimento de água do País fornecem água sem qualquer tipo de tratamento através de rede geral de abastecimento (BRASIL, 2015).

Figura 4 - Percentual de sistemas de abastecimento de água (SAA) sem tratamento, no Brasil e regiões



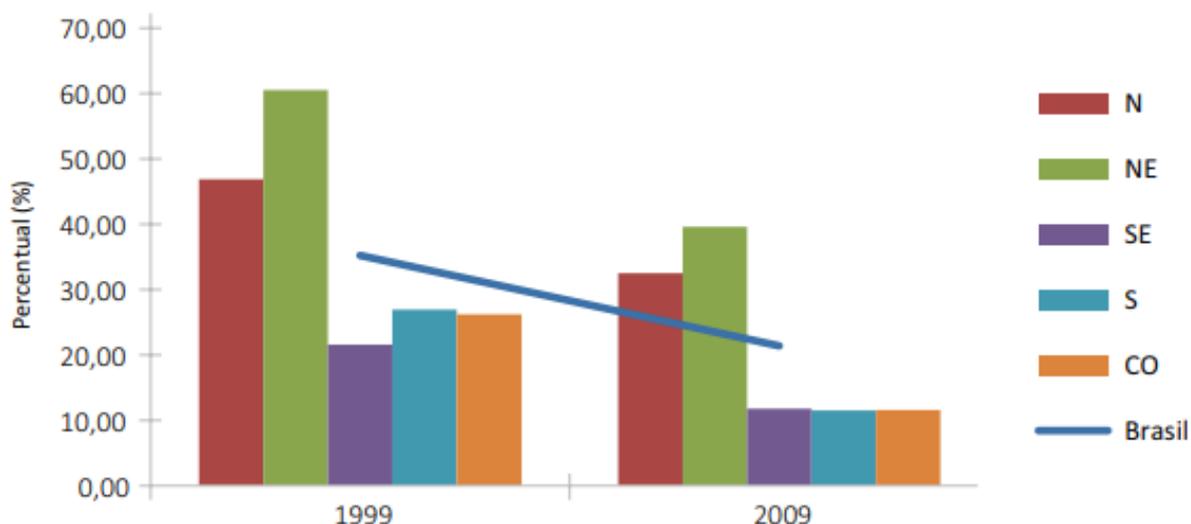
Fonte: SISAGUA/CGVAM/MS, 2013, apud BRASIL, 2015.

Verifica-se que a Região Norte (60%) e a Nordeste (41%) são as com os piores percentuais (BRASIL, 2015).

O alto percentual de água distribuída sem tratamento mostra a desestruturação do saneamento no País e a desigualdade regional nesse contexto. Na Região Norte e Nordeste, esse problema se evidencia e coincide com os indicadores de pobreza (Figura 5). Nessas regiões também há os menores Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) - Região Norte com 0,667 e Região Nordeste com 0,663 - o que reforça a desigualdade no fornecimento de

água para consumo humano no Brasil e a necessidade de ações para diminuir esses problemas e melhorar a distribuição de água potável à população (BRASIL, 2015).

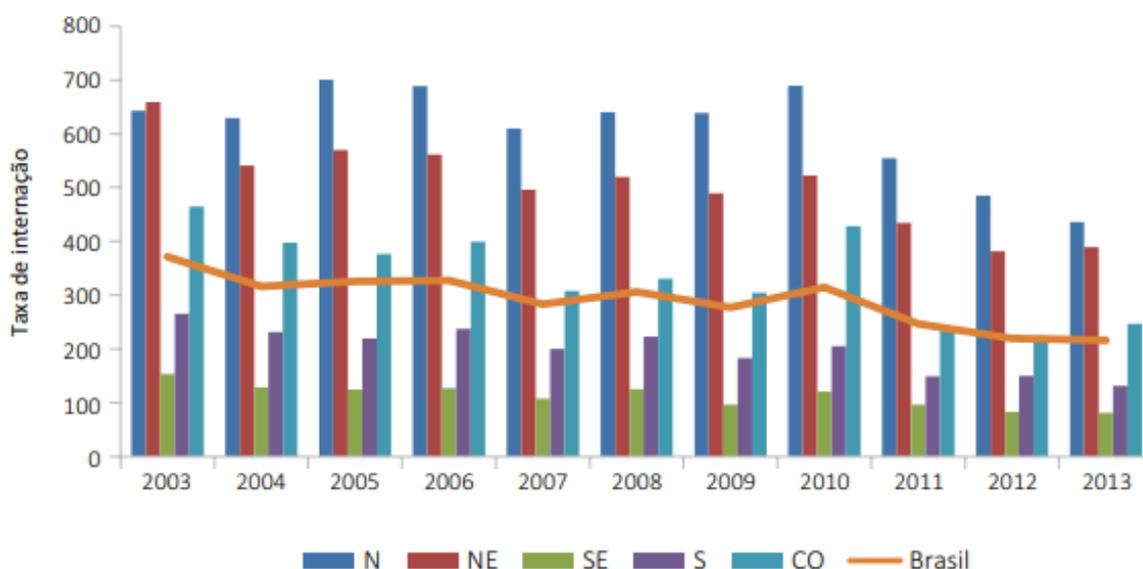
Figura 5 - Percentual de pessoas na população total com renda domiciliar per capita inferior à linha de pobreza, no Brasil e nas regiões geográficas, 1999 e 2009



Fonte: IPEA, apud BRASIL, 2015.

Os indicadores analisados têm efeitos diretos ou indiretos na saúde da população e essa relação fica evidente na Figura 6, onde se observa que as Regiões Norte e Nordeste ficaram com as maiores taxas de internação por DRSAI, durante todo o período de 2003 a 2013, de acordo com dados do Sistema de Informações Hospitalares (SIH) do Ministério da Saúde. Já a Região Sudeste apresentou as menores taxas para o período (BRASIL, 2015).

Figura 6 - Taxa de internação por DRSAI, por 100 mil habitantes, no Brasil e nas regiões geográficas, de 2003 a 2013



Fonte: SIH/MS, apud BRASIL, 2015.

De acordo com o Ministério da Saúde (2015), as DRSAI apresentaram uma redução de 41,8%, de 2003 a 2013, no País. Esse decréscimo pode ser resultado do aumento dos serviços de saneamento básico e da melhora de alguns indicadores, como a redução da taxa de pobreza.

### 3.4 Principais Processos e Operações Unitárias de Tratamento de Água

#### 3.4.1 Estação de Tratamento de Água e as Tecnologias usuais de Tratamento para Abastecimento Público

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 12216 (1992), a ETA é o conjunto de unidades com o intuito de adequar as características da água aos padrões de potabilidade.

Segundo Libânio (2010), a escolha da tecnologia a ser adotada no tratamento deve se basear nos seguintes fatores: características da água bruta; custos diversos; manuseio e confiabilidade dos equipamentos; flexibilidade operacional; localização e características da comunidade; disposição final do lodo.

Conforme Heller e Pádua (2016), as etapas que constituem o tratamento de água no Brasil, na maioria das situações, costumam ser:

- a) Clarificação: objetiva a remoção de sólidos, ocorrendo nos decantadores, flutuadores e filtros;
- b) Desinfecção: consiste na inativação de microrganismos patogênicos;
- c) Fluoretação: como prevenção de cárie dentária infantil;
- d) Estabilização química: para controle de corrosão e incrustação da água nas tubulações.

São diversas as técnicas de tratamento de água para abastecimento humano, sendo as características da água bruta o principal fator para a definição da tecnologia de tratamento a ser empregada.

No Brasil destaca-se o tratamento convencional (ou ciclo completo) e a filtração direta, mas outras técnicas também são empregadas em um número ainda pequeno de ETAs, como a filtração lenta, a flotação e a filtração em membrana (HELLER; PÁDUA, 2016).

Na Figura 7 pode se verificar as técnicas mais utilizadas. Não foram incluídas outras etapas, como o pré-tratamento, nem etapas que podem ser comuns a todas as técnicas, como fluoretação, desinfecção, entre outras (HELLER; PÁDUA, 2016).

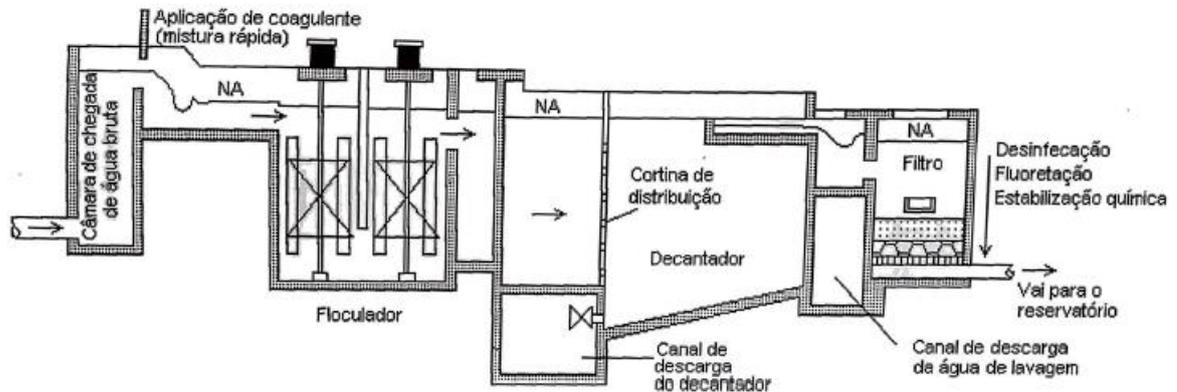
Figura 7- Técnicas mais usuais de tratamento de água



Fonte: Heller e Pádua, 2016.

Para o tratamento convencional, destacam-se as etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração. Na Figura 8 pode se observar um esquema em planta de uma ETA de tratamento convencional.

Figura 8 - Esquema em corte de uma ETA convencional



Fonte: Heller e Pádua, 2016.

De acordo com o Guinness Book, O Livro dos Recordes, a maior estação de tratamento de água do mundo utiliza o processo convencional de tratamento e está localizada no Rio de Janeiro. A ETA Guandu ( Figura 9) é capaz de tratar  $43 \text{ m}^3$  por segundo continuamente e abastece 9 milhões de pessoas em 8 cidades, incluindo o Rio de Janeiro (RIO DE JANEIRO, 2020).

Figura 9 - ETA Guandu



Fonte: RIO DE JANEIRO, 2020.

### 3.4.1.1 Coagulação

A coagulação consiste na desestabilização das partículas coloidais e suspensas, que ocorre por um conjunto de fenômenos físicos e químicos, ocorrendo em poucos segundos, entre o coagulante, a água e as impurezas existentes (LIBÂNIO, 2010).

Os tipos de coagulantes geralmente utilizados nessa etapa são o sulfato de alumínio, o cloreto férrico, o sulfato férrico, o sulfato ferroso clorado e o hidróxi-cloreto de alumínio (HCA ou PAC). Em virtude da grande variedade de coagulantes e da qualidade distinta da água bruta a ser tratada, é essencial a realização de testes e experimentos para se definir as condições adequadas de coagulação, bem como das dosagens, tipo de coagulante, entre outros (HELLER; PÁDUA, 2016).

Segundo a FUNASA (2015), dependendo do pH da água e das condições necessárias para o seu tratamento, pode ser necessária a adição de um alcalinizante, geralmente uma solução de cal.

Após a aplicação do coagulante ocorrerá a etapa destinada a dispersar os produtos químicos na água a ser tratada, fazendo com que ocorra o choque entre o coagulante e as impurezas presentes. Segundo a ABNT NBR 12216 (1992), essa etapa é denominada de mistura rápida, podendo se fazer uso de agitadores mecânicos ou hidráulicos, e as condições ideais, de gradiente de velocidade, tempo de mistura também devem ser determinadas em ensaios laboratoriais.

A coagulação está presente em quase todas as tecnologias de tratamento, com exceção da filtração lenta e a sua eficiência influi no desempenho das demais etapas do tratamento de água, com a melhora na qualidade microbiológica do efluente, o aumento da duração das carreiras dos filtros e, por consequência, a diminuição de custos (LIBÂNIO, 2010).

### 3.4.1.2 Floculação

Segundo Heller e Pádua (2016), as reações que têm início na mistura rápida possibilitam a aglomeração das impurezas presentes na água e a formação de flocos na unidade de floculação. O seu propósito consiste em acondicionar a água para que nela ocorra o aumento de tamanho das partículas que será encaminhada aos decantadores (ou flotores) e, posteriormente, aos filtros da ETA. Ou seja, não ocorrerá remoção de impurezas na unidade

de floculação. Diferentemente da mistura rápida (coagulação), nos tanques de floculação a energia fornecida é menor, ocorrendo em unidades também chamadas de mistura lenta.

A ABNT NBR 12216 (1992) define os floculadores como unidades utilizadas para promover a agregação de partículas que foram formadas na mistura rápida. O período de detenção no tanque de floculação e gradientes de velocidade a serem aplicados, devem ser determinados por ensaios realizados com a água a ser tratada. Dependendo do tamanho da estação e de outros critérios determinados pelo órgão contratante, caso não seja possível realizar ensaios para determinar o período de detenção adequado, podem ser adotados valores entre 20 min e 30 min, para floculadores hidráulicos; e 30 min e 40 min, para os mecanizados.

Para as estações convencionais de tratamento, a ineficácia da floculação, que está diretamente relacionada ao desempenho da coagulação, aumentará a afluência de partículas às unidades filtrantes, interferindo na qualidade da água filtrada, reduzindo o intervalo entre lavagens dos filtros e podendo tornar o processo de potabilização antieconômico (LIBÂNIO, 2010).

#### *3.4.1.3 Decantação*

De acordo com Heller e Pádua (2016), a decantação se constitui em uma das técnicas mais antigas e simples de clarificação da água e tem como princípio fundamental a ação da força da gravidade sobre as impurezas (flocos, anteriormente formados nas etapas de coagulação e floculação), que facilita a sedimentação delas no fundo da unidade, e resulta na clarificação do sobrenadante. A construção dessas unidades é necessária para remoção de partes dessas impurezas para o envio da água para as etapas subsequentes, como os filtros.

A ABNT NBR 12216 (1992) define os decantadores como unidades que objetivam a remoção de partículas presentes na água pela ação da gravidade. Podendo ser convencionais, ou de baixa taxa, e de elementos tubulares, ou de alta taxa.

O seu dimensionamento é baseado na Taxa de Aplicação Superficial (TAS) que está diretamente relacionado com a velocidade de sedimentação das partículas em suspensão na água, e pode ser calculada através da divisão da vazão afluente ao decantador e sua área. A redução na TAS resulta em melhor qualidade da água decantada, porém significa um aumento no tamanho dessas unidades. Vale destacar que a definição da TAS depende fundamentalmente da qualidade da água bruta. Águas com concentrações elevadas de determinadas espécies de algas ou que possuem cor verdadeira elevada e uma baixa turbidez podem formar flocos leves e difíceis de serem removidos, exigindo unidades de decantação

com baixa TAS (HELLER; PÁDUA, 2016).

A ABNT NBR 12216 (1992) estabelece que o número de decantadores em uma ETA depende de fatores econômicos e operacionais e devem respeitar as seguintes condições:

- a) uma unidade de decantação, desde que não seja mecanizada, em estações com capacidade inferior a 1.000 m<sup>3</sup>/dia, operando continuamente, ou estações com capacidade de até 10.000 m<sup>3</sup>/dia, com tempo de funcionamento inferior a 18 h/dia;
- b) pelo menos duas unidades iguais de decantação para as demais ETAs com capacidade superior a 10.000 m<sup>3</sup>/dia, ou com funcionamento superior a 18 h/dia ou ainda em que os decantadores são mecanizados.

No entanto, de acordo com Bernardo e Paz (2010), recomenda-se pelo menos duas unidades de decantação, para que a ETA não fique inoperante em períodos de limpeza da unidade.

As partículas não removidas na decantação, seja por seu pequeno tamanho ou por serem de densidade próxima a da água, deverão ser removidas na filtração (FUNASA, 2015).

#### *3.4.1.4 Filtração*

A filtração é a última barreira contra as impurezas presentes na água e irá remover as partículas que não foram removidas nas etapas anteriores. Os filtros se diferenciam em lentos e rápidos, e este último é utilizado no processo de tratamento convencional. Os filtros rápidos são constituídos de: canal de alimentação da água aos filtros; calhas de distribuição da água decantada; meio filtrante; camada suporte; sistema de drenagem; e calhas de coleta da água de lavagem. (BERNARDO e PAZ, 2010; VIANNA, 1992).

De acordo com Libânio (2010), os meios filtrantes utilizados frequentemente no Brasil são constituídos por apenas areia, nos denominados de filtros de areia ou de camada simples, ou areia e antracito nos filtros de camada dupla. O carvão ativado granular também vem sendo empregado como meio filtrante, e objetiva, em especial, a adsorção de agrotóxicos ou de outros compostos orgânicos capazes de conferir odor e sabor à água tratada. O meio filtrante, na quase totalidade dos filtros empregados no tratamento de água, é assentado sobre camada de cascalho, pedregulho ou seixos rolados e é denominada de camada-suporte.

A PRC nº 05/17, do Ministério da Saúde, estabelece que as águas provenientes de manancial superficial devem ser submetidas a processo de filtração.

#### 3.4.1.5 Desinfecção

A desinfecção da água possui caráter preventivo e corretivo. Corretivo, pois irá eliminar ou inativar organismos patogênicos que possam estar presentes na água, tais como bactéria, protozoários e vírus. E preventivo, pois ao ser mantido um residual do desinfetante na água fornecida, servirá de proteção caso ocorram contaminações na rede de distribuição, sendo possível também a indicação dessas possíveis contaminações, ao se verificar alterações nas concentrações do residual na água (HELLER; PÁDUA, 2016).

Libânio (2010) menciona que a desinfecção das águas para consumo pode ser realizada basicamente por agentes químicos e físicos. Os agentes químicos incluem o cloro, dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio, ácido acético, bromo, iodo, permanganato de potássio, cloreto de bromo e ozônio. Os agentes físicos podem ser: radiação UV, a radiação gama, radiação solar e, em nível domiciliar, a fervura.

Dentre os diversos compostos disponíveis para a desinfecção, os compostos de cloro são os mais amplamente utilizados, devido ao seu baixo custo e, principalmente, a possibilidade de conferir à água uma concentração residual que irá garantir sua distribuição com segurança (LIBÂNIO, 2010).

Segundo Opas (1987), conforme citado por Meyer (1994), a presença de compostos orgânicos, tais como os ácidos húmicos e fúlvicos, em águas que foram cloradas na etapa de desinfecção podem resultar na formação dos trihalometanos, que são compostos considerados carcinogênicos. Entretanto, a substituição do cloro por outro desinfetante no tratamento de água pode trazer mais riscos do que benefícios, já que a diminuição da incidência de doenças de veiculação hídrica somente foi alcançada com a difusão do emprego da desinfecção por cloração.

O emprego de outros desinfetantes, tais como os de ação física não possibilitariam a manutenção de residual, dificultando a garantia da segurança na água tratada.

#### 3.4.1.6 Fluoretação e Estabilização Química

De acordo com Libânio (2010), a fluoretação consiste na etapa do tratamento destinada a conferir ou elevar determinada concentração de fluoreto (F<sup>-</sup>) à água tratada por meio da aplicação de compostos de flúor.

A PRC nº 05/17 MS recomenda a adição de compostos de flúor, de maneira a prevenir a cárie dentária e estabelece a manutenção de concentrações de até 1,5 mg/L de

fluoreto.

Qualquer composto solúvel de flúor que libere o íon fluoreto em solução aquosa pode ser empregado na fluoretação de águas de consumo. A fluoretação é feita, na maioria das estações, por meio da aplicação de fluossilicato de sódio, fluoreto de sódio e ácido fluossilícico (LIBÂNIO, 2010).

Após passar por todas as etapas de tratamento, a água pode apresentar-se corrosiva ou incrustante e acarretar danos nas tubulações de distribuição, portanto, sendo necessário que a água produzida na ETA seja estabilizada quimicamente de forma a evitar tais problemas (HELLER; PÁDUA, 2016).

Enquanto a incrustação tem sua origem na distribuição com água de elevado pH (alcalino), a corrosão relaciona-se ao baixo pH da água distribuída (ácido). Portanto, além de se atender os padrões de potabilidade, deve-se garantir que a água tratada seja estabilizada quimicamente de forma a evitar corrosão ou incrustações, com, por exemplo, correção do pH da água, uso de tubulação com material adequado, emprego de proteção catódica, uso de inibidores e aplicação de camada protetora. Atualmente, o ortopolifosfato vem sendo estudado para amenizar problemas relacionados à incrustação e corrosão causadas pela água (HELLER; PÁDUA, 2016).

### **3.5 Parâmetros de Caracterização da Água para Consumo Humano**

#### ***3.5.1 Parâmetros Físico-Químicos***

##### *3.5.1.1 Turbidez*

A turbidez expressa, de forma simplificada, a transparência da água e deve-se à presença de material particulado em suspensão na água, ou coloidal, como matéria orgânica e inorgânica, fitoplâncton e outros organismos microscópicos, planctônicos ou não. (HELLER; PÁDUA, 2016).

Segundo Von Sperling (1996), a turbidez pode ter origem natural como partículas de rocha, argila, silte, algas e outros microorganismos e pode ter origem antrópica como lançamento de efluentes domésticos e industriais.

De acordo com Libânio (2010), a determinação da turbidez é usada como parâmetro de monitoramento do afluente e efluente em quase todas as estações de tratamento de água do mundo pela simplicidade e rapidez da determinação. A turbidez é uma

característica física que se constitui em uma inferência da concentração de partículas suspensas na água e é obtida por meio da passagem de um feixe de luz através de uma amostra, e é expressa em unidades de turbidez (uT), também chamada de unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

Nas águas superficiais, a turbidez natural, geralmente, compreende valores entre 3 e 500 uT e em águas subterrâneas o valor é inferior a 1,0 uT e é frequentemente decorrente de presença de ferro e manganês, como também ocorre para a cor. Onde a velocidade de escoamento da água é menor, como em lagos e represas, a turbidez costuma ser bastante baixa, frequentemente inferior a 10 uT (LIBÂNIO, 2010).

A turbidez da água filtrada vem, progressivamente, se consolidando em todo o mundo como um dos principais parâmetros na avaliação de desempenho de ETAs, indo além do aspecto estético associado a ela. A importância da baixa turbidez também está relacionada a maior eficiência da desinfecção, independente do desinfetante empregado, pois microrganismos podem obter proteção por meio das partículas suspensas na massa líquida, conhecido como efeito-escudo. As partículas suspensas também podem ter capacidade de adsorver substâncias tóxicas, tais como agrotóxicos organoclorados e outros compostos orgânicos, e sua remoção reduziria a concentração destes compostos (LIBÂNIO, 2010).

### *3.5.1.2 Cor*

A cor da água se origina a partir da reflexão da luz em partículas muito pequenas, denominadas de colóides, com dimensão inferior a 10  $\mu\text{m}$  e de origem predominantemente orgânica, que estão finamente dispersas, e que possui relação com o carbono orgânico presente no ambiente aquático. A cor pode resultar da presença de compostos de ferro e manganês ou de lançamento de diferentes tipos de resíduos industriais. Quando há presença de cor em águas subterrâneas, de modo geral, está relacionado a estes compostos de ferro e manganês (LIBÂNIO, 2010).

Os compostos orgânicos que conferem cor às águas naturais são oriundos de basicamente duas fontes: principalmente da decomposição de matéria orgânica de origem predominantemente vegetal (ácidos húmicos e fúlvicos) e do metabolismo de microrganismos presentes no solo; em menor magnitude, de atividades antrópicas como lançamento de efluentes domésticos e industriais, lixiviação de solos agriculturáveis e de vias urbanas (LIBÂNIO, 2010).

De acordo com Heller e Pádua (2016), a cor pode ser o primeiro indício de uma situação perigosa e sua fonte deve ser investigada, principalmente se for detectada mudança significativa. São aceitáveis pelos consumidores, em geral, níveis abaixo de 15 uH (unidade Hazen).

A cor verdadeira é definida como aquela que não sofre interferência de partículas suspensas, sendo possível obtê-la com centrifugação ou filtração da amostra. Já a cor aparente é a medida sem remoção de partículas em suspensão (HELLER; PÁDUA, 2016). A PRC nº 05/17, do Ministério da Saúde considera a cor aparente e estabelece o limite máximo de 15 uH, por motivos eminentemente estéticos.

### *3.5.1.3 pH*

Segundo Heller e Pádua (2016), o pH (potencial hidrogeniônico) da água é a medida da atividade dos íons hidrogênio e expressa a intensidade de condições ácidas ( $\text{pH} < 7,0$ ) ou alcalinas ( $\text{pH} > 7,0$ ). Em águas naturais, o pH tende a apresentar valores próximos da neutralidade, por sua capacidade de tamponamento. Porém, características do solo, presença de ácidos húmicos ou uma atividade fotossintética intensa podem favorecer a elevação ou redução natural do pH. O valor do pH influencia na solubilidade de várias substâncias, na forma em que estas se apresentam na água e em sua toxicidade.

O pH é um parâmetro de grande importância no processo de coagulação durante o tratamento da água. Também, ao final do tratamento, pode ocorrer a necessidade de correção do pH de forma a evitar problemas de corrosão ou de incrustação, e de fundamental importância no controle da desinfecção, pois a cloração perde sua eficiência em pH elevado (HELLER; PÁDUA, 2016).

Os padrões de potabilidade nacional e da OMS estabelecem amplo intervalo para pH da água tratada (6,0 a 9,5) com o intuito de minimizar a possibilidade de corrosão (para pH baixo) ou incrustação (para pH elevado) nas redes de distribuição (LIBÂNIO, 2010).

### *3.5.1.4 Cloro Residual Livre*

De acordo com Bastos et al. (2003), conforme citado por Heller e Pádua (2016), um atributo de grande importância em um desinfetante é sua capacidade de manter residuais minimamente estáveis após suas reações com a água. Ao final da etapa de desinfecção, na saída do tanque de contato da ETA, a medição de cloro residual serve de indicador da

eficiência da desinfecção, devendo se observar um residual mínimo de cloro livre, pois este apresenta poder de desinfecção superior ao cloro combinado.

O cloro residual livre no sistema de distribuição tem o objetivo de prevenir a contaminação da água pós-tratamento, além de servir de indicador de segurança da água distribuída, pois caso se verifique grande redução do cloro residual comparado ao que havia na saída da ETA, poderá indicar contaminação ao longo da distribuição. Dessa forma, o cloro residual pode ser usado como indicador de potabilidade microbiológica (BASTOS et al., 2003, apud HELLER; PÁDUA, 2016).

### *3.5.1.5 Cloretos*

Segundo Suetônio (1997), os cloretos originam-se geralmente da dissolução de minerais (especialmente salgema, que é o cloreto de sódio, acompanhado de cloreto de potássio e de cloreto de magnésio, que ocorre em jazidas na superfície terrestre) ou da intrusão da água do mar, podendo vir também de contaminação com efluentes domésticos ou industriais. Sua presença é essencial para manutenção do metabolismo de diversos organismos, estando relacionado com as trocas iônicas para os meios intra e extracelulares.

De acordo com Esteves (2011), longos períodos sem precipitação pluviométrica aumentam as concentrações de cloreto e carbonatos nas águas. Relatos em seus estudos indicam concentrações de cloreto em açudes chegando a 2.100 mg/L durante períodos de estiagem.

Segundo Heller e Pádua (2016), pelo fato de o esgoto doméstico conter elevadas concentrações deste íon, a presença de cloretos em concentrações mais elevadas que o normal em águas naturais de uma região é indicativo de poluição. Em águas destinadas ao consumo humano, a concentração de cloretos está relacionada à alteração de gosto e sua aceitação para consumo. Além de causar gosto salino, teores elevados de cloretos podem interferir na coagulação durante o tratamento da água.

Os cloretos que alteram o gosto da água são, principalmente, os de sódio, potássio e cálcio. Concentrações muito elevadas de cloretos podem prejudicar a saúde de pessoas com doença cardíaca ou renal, embora a concentração de sais na alimentação seja muito mais significativa. Para remoção de cloretos é necessário o uso de processos especiais de tratamento de água, como osmose reversa, troca iônica ou eletrodialise, pois processos convencionais não são eficientes (HELLER; PÁDUA, 2016).

### 3.5.1.6 Fluoretos

Os fluoretos são compostos químicos formados pela combinação com outros elementos, podendo ser encontrados em vários lugares, tais como solo, ar, água, plantas e vida animal (FUNASA, 2012).

De acordo com Heller e Pádua (2016) as principais fontes de contaminação por fluoretos são através da erosão de depósitos naturais, a introdução na água de abastecimento e em efluentes de indústrias de fertilizantes e alumínio.

Segundo FUNASA (2012), 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% em populações com exposição contínua desde o nascimento, com ingestão por um período de aproximadamente 10 anos da dose ótima. A fluoretação é considerada um processo seguro, econômico e adequado.

Em concentração excessiva, porém, os fluoretos podem causar fluorose dental nas crianças, e até a fluorose endêmica cumulativa e as possíveis lesões esqueléticas em adultos e crianças. Os fluoretos podem, também, ser responsáveis pela osteoporose (HELLER; PÁDUA, 2016).

## 3.5.2 Parâmetros Microbiológicos

### 3.5.2.1 Coliformes Totais e *Escherichia coli*

De acordo com Von Sperling (1996), o grupo dos Coliformes são organismos indicadores de contaminação fecal e são usados de forma indireta para a determinação da potencialidade de uma água transmitir doenças. Já que a detecção de agentes patogênicos (principalmente bactérias, protozoários e vírus) em uma amostra de água é extremamente difícil, em razão de suas baixas concentrações, demandando grandes volumes da amostra.

Segundo Libânio (2010), as bactérias coliformes estão presentes naturalmente no intestino de animais de sangue quente. O termo 'coliformes totais' inclui amplo rol de bactérias ambientais e de origem fecal capazes de sobreviver na água, fermentar a lactose e produzir ácido em 24 horas em temperatura de 35 a 37 °C. As bactérias denominadas termotolerantes são capazes de fermentar a lactose em temperatura elevada -  $44,5 \pm 0,2$  °C - por um prazo de 24 horas.

A *Escherichia coli* diferencia-se dos demais coliformes termotolerantes pela capacidade de produzir a enzima ( $\beta$ -glucorinidase), apresenta-se em elevadas concentrações nas fezes humanas e de animais, constituindo-se em indicador de poluição fecal. Algumas formas de *E. coli* são capazes de causar sérios problemas intestinais. Seu exame tem sido bastante usado no monitoramento da água bruta, com o objetivo de avaliar a probabilidade da presença de protozoários e outros patógenos. Já os coliformes totais são usados para os efluentes das estações de tratamento, como forma de avaliar a qualidade da água tratada e da própria eficiência da potabilização (LIBÂNIO, 2010).

A PRC nº 05/17, do Ministério da Saúde estabelece que em uma amostra de 100 mL deve haver ausência de Coliformes Totais e *E. coli*.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Área de Estudo

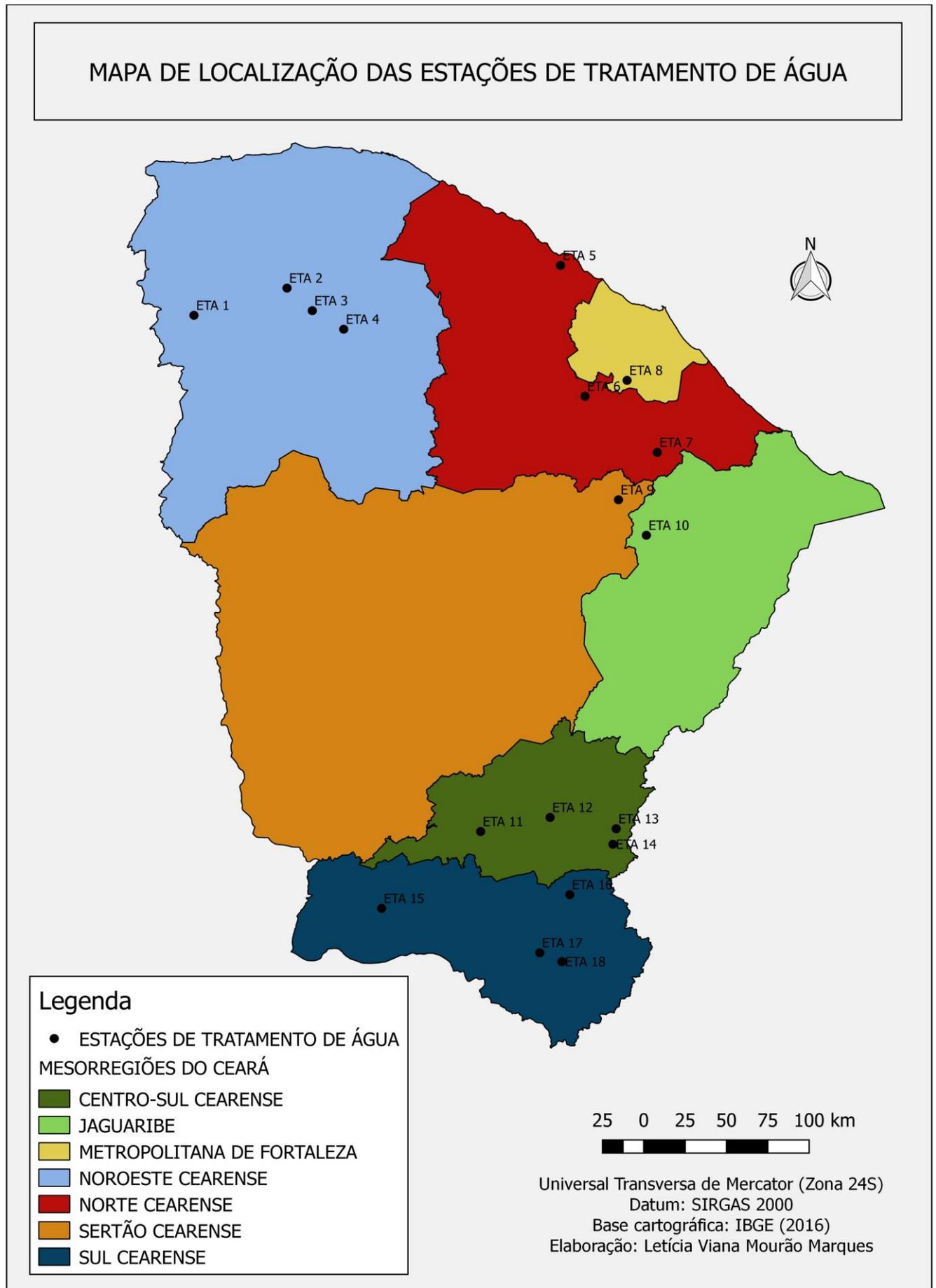
As ETAs selecionadas para o Estudo estão localizadas no Estado do Ceará nas 7 mesorregiões – subdivisão geográfica criada pelo IBGE – distribuídas de acordo com a Tabela 1 e a Figura 10.

Tabela 1 - Distribuição das ETAs no Estado

Nº ETA	Mesorregião
1	Noroeste
2	
3	
4	
5	Norte
6	
7	
8	Metropolitana de Fortaleza
9	Sertão
10	Jaguaribe
11	Centro-Sul
12	
13	
14	
15	Sul
16	
17	
18	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 10 - Mapa de Localização das ETAs



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4.2 Monitoramento, Coleta e Armazenamento da Água

O monitoramento da qualidade da água é entendido com uma atividade de investigação ou vigilância e consiste em avaliar, de forma contínua, a qualidade da água consumida pela população, e permite a identificação de fatores de risco e possibilita a definição de estratégias de melhoria, além de acompanhar os impactos que resultarem das medidas implementadas (ANA, 2011).

Ainda de acordo com ANA (2011), com o objetivo de comprovar a potabilidade da água fornecida para consumo humano, o controle de qualidade da água é de extrema importância, também, para se verificar pontos críticos do sistema e contribuir para o setor operacional, de forma a ajudar na correção imediata de possíveis anomalias detectadas.

Para o monitoramento da qualidade da água das dezoito (18) ETAs selecionadas no Estudo, foram feitas coletas de amostras no período de Agosto a Novembro de 2019. A coleta e conservação das amostras de água foram realizadas de acordo com o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos) da Agência Nacional de Águas (ANA, 2011). Os parâmetros selecionados para o estudo foram turbidez (uT), cor (uH), pH à 25°C, cloro residual livre ( $\text{Cl}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ ), cloreto (Cl), fluoreto (F), e bactérias do grupo Coliformes (Coliformes Totais e *Escherichia coli*).

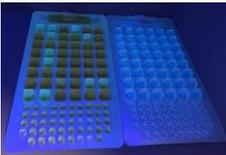
As análises físico-químicas e microbiológicas foram feitas no Laboratório de Química Ambiental (LQA) da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC).

## 4.3 Métodos Empregados na Análise dos Parâmetros

Para a realização das análises dos parâmetros foram seguidos os procedimentos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

A Tabela 2 apresenta os equipamentos, métodos e reagentes utilizados para cada parâmetro analisado.

Tabela 2 - Equipamentos, métodos e reagentes utilizados na análise dos parâmetros

PARÂMETROS	EQUIPAMENTOS	MÉTODOS	REAGENTES
<b>Turbidez (NTU)</b>		Método 2130 B (Nefelométrico) (APHA, 2012)	Soluções Padrões 0,1 a 1000 NTU
<b>Cor (mgPt-Co.L<sup>-1</sup>)</b>		Método 2120 E (ADMI de filtros tristimulus) (APHA, 2012)	Solução Padrão de 10,0 mgPt-Co
<b>pH à 25°C</b>		Método 4500 H+B (Potenciométrico) (APHA, 2012)	Solução Tampão pH 4 e 7
<b>Cloro Residual Livre (mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>)</b>		Método 4500 Cl G (Colorimétrico) (APHA, 2012) Hach Test kits – Pocket colorimeter	Reagente DPD (N,N–dietil– P– Fenilendiamino
<b>Cloreto (mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>)</b>		Método 4500 Cl <sup>-</sup> B (Argentimétrico) (APHA, 2012)	Solução Padrão de Nitrato de Prata 0,0141M e Solução de Cromato de Potássio
<b>Fluoreto (mgF<sup>-</sup>.L<sup>-1</sup>)</b>		Método 4500-F <sup>-</sup> C Ion- Selective Electrode (APHA, 2012)	Solução de Fluoreto de Sódio (NaF) e Solução Tisab (Hidróxido de Sódio + Citrato de Sódio)
<b>Coliformes Totais</b>		Método 9223 B Enzyme Substrate (APHA, 2012)	Colilert <sup>®</sup> – Cromogênico ONGP
<b><i>Escherichia coli</i></b>		Método 9223 B Enzyme Substrate (APHA, 2012)	Colilert <sup>®</sup> – Fluorogênico MUG

Fonte: Elaborado pelo autor.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A Tabela 3 apresenta os resultados médios obtidos para as amostras coletadas no período de Agosto a Novembro de 2019 das dezoito (18) ETAs analisadas.

Não será feito o detalhamento dos resultados, de forma a garantir o sigilo e confidencialidade dos dados, pertencentes ao contratante dos serviços prestados pelo NUTEC.

Tabela 3 - Valores médios obtidos para as dezoito (18) ETAs analisadas (Agosto a Novembro de 2019)

PARÂMETROS	MESORREGIÕES DO CEARÁ																		PRC N° 05/17
	NOROESTE				NORTE			METROPOLITANA DE FORTALEZA	SERTÃO	JAGUARIBE	CENTRO-SUL				SUL				
	ETA 1	ETA 2	ETA 3	ETA 4	ETA 5	ETA 6	ETA 7	ETA 8	ETA 9	ETA 10	ETA 11	ETA 12	ETA 13	ETA 14	ETA 15	ETA 16	ETA 17	ETA 18	
CLORO RESIDUAL (mgCl <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	4,20	2,50	2,00	8,00	3,00	2,00	3,00	1,50	2,50	2,00	3,00	2,00	2,00	1,30	3,00	2,50	2,00	2,00	0,2 a 2,0
CLORETOS (mgCl <sup>-</sup> .L <sup>-1</sup> )	50,30	53,60	30,20	33,20	29,10	48,20	102,0	33,20	221,10	142,20	35,20	67,00	14,10	56,90	39,20	8,10	30,2	181,4	≤ 250,0
FLUORETO (mgFL <sup>-1</sup> )	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ 1,5
COR (uH)	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ LQ	≤ 15,0
TURBIDEZ (NTU)	≤ LQ	0,50	≤ LQ	0,40	1,20	0,30	1,00	0,30	3,00	≤ LQ	1,00	3,50	3,00	4,30	0,50	2,80	0,50	0,40	≤ 0,5 ≤ 1,0
pH (25°C)	6,65	6,93	7,80	7,12	7,74	7,21	7,04	7,50	6,56	7,38	7,20	7,44	7,17	7,50	7,43	7,79	7,41	7,52	6,0 a 9,5
COLIFORMES TOTAIS	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	presença	ausência	ausência	ausência	ausência	Ausência em 100ml
ESCHERICHIA COLI	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	ausência	Ausência em 100ml

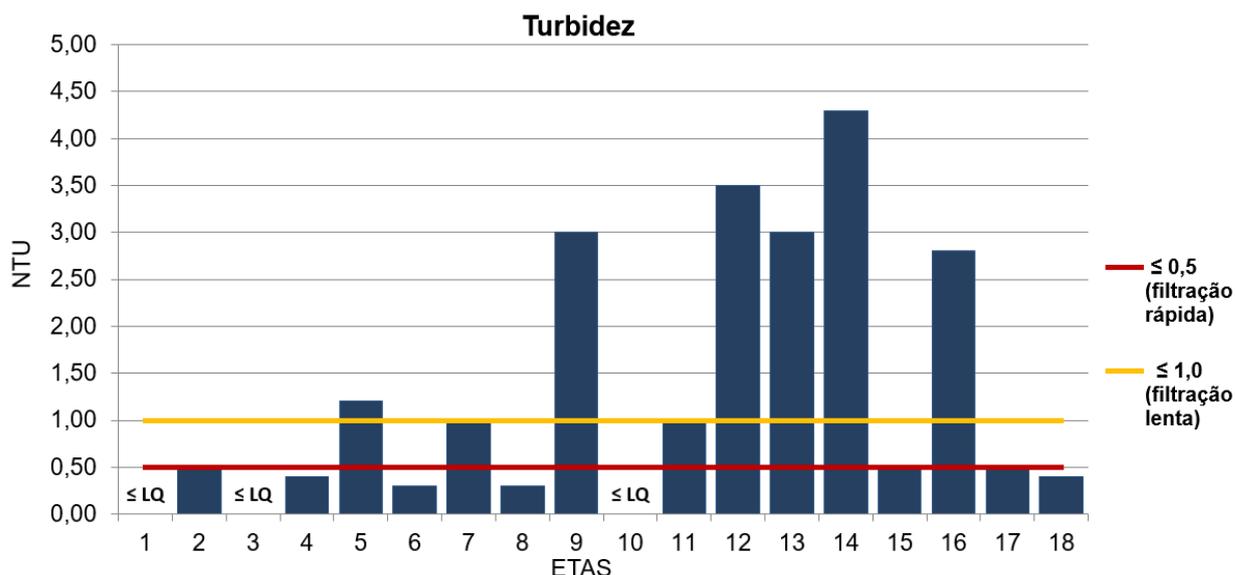
Fonte: Elaborado pelo autor.

LQ = Limite de Quantificação

## 5.1 Análise dos Parâmetros

### 5.1.1 Turbidez (NTU)

Gráfico 1 - Valores obtidos para Turbidez (NTU)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação ao parâmetro turbidez, nas **ETAs 5, 9, 12, 13, 14 e 16** o valor de turbidez foi **maior que 1,0 NTU**, chegando a atingir **4,30 NTU para a ETA 14**, estando, portanto, em desacordo com a PRC nº 05/17 MS, que estabelece valor de 0,5 NTU para filtração rápida e 1,0 NTU para filtração lenta, ou seja, não atendem ao padrão de potabilidade vigente.

Nas **ETAs 7 e 11** o valor de turbidez foi **de 1,00 NTU**, encontrando-se em desacordo com a PRC nº 05/17 MS apenas para filtração rápida (0,5 NTU), ou seja, atendem ao padrão de potabilidade para a filtração lenta.

Já nas amostras de águas coletadas nas **ETAs 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 15, 17 e 18**, os valores de turbidez encontraram-se de acordo com a PRC nº 05/17 MS, que define em seu Artigo 30 que para a garantia da qualidade microbiológica da água, em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos, deve ser atendido o padrão de turbidez conforme descrito no § 2º do mesmo artigo que estabelece o valor máximo permitido de 0,5 uT para água filtrada por filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta), assim como o valor máximo permitido de 1,0 uT para água filtrada por filtração lenta.

De acordo com o § 3º do mesmo artigo, o atendimento do percentual de aceitação do limite de turbidez deve ser verificado mensalmente com base em amostras, preferencialmente no efluente individual de cada unidade de filtração, no mínimo diariamente para desinfecção ou filtração lenta e no mínimo a cada duas horas para filtração rápida.

De acordo com Piveli (2005), os compostos que causam turbidez quando de origem natural não trazem problemas sanitários diretos além do aspecto desagradável. Porém as partículas que provocam turbidez podem formar sítios de adsorção que podem agregar microrganismos patogênicos, protegendo-os dos agentes desinfetantes, ou causar sabor e odor desagradáveis na água.

### 5.1.2 Cor aparente ( $mgPt-Co.L^{-1}$ )

Tabela 4 - Valores obtidos para Cor (uH)

<b>ETAS</b>	<b>COR (uH)</b>
ETA 1	≤ LQ
ETA 2	≤ LQ
ETA 3	≤ LQ
ETA 4	≤ LQ
ETA 5	≤ LQ
ETA 6	≤ LQ
ETA 7	≤ LQ
ETA 8	≤ LQ
ETA 9	≤ LQ
ETA 10	≤ LQ
ETA 11	≤ LQ
ETA 12	≤ LQ
ETA 13	≤ LQ
ETA 14	≤ LQ
ETA 15	≤ LQ
ETA 16	≤ LQ
ETA 17	≤ LQ
ETA 18	≤ LQ
<b>PRC N° 05/17</b>	<b>≤ 15,0</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observando-se os resultados da Tabela 4, pode-se verificar que para **todas as amostras de águas** coletadas nas dezoito (18) ETAs analisadas, os valores de Cor Aparente,

em Unidades Hazen ( $1 \text{ uH} = 1 \text{ mgPt-Co.L}^{-1}$ ) encontraram-se  $\leq \text{LQ} = 10 \text{ (uH)}$ , estando, portanto, em conformidade com a PRC nº 05/17 MS que estabelece o valor máximo permitido de 15,0 (uH) ( $\text{mgPt-Co.L}^{-1}$ ) em sua tabela de padrão organoléptico de potabilidade.

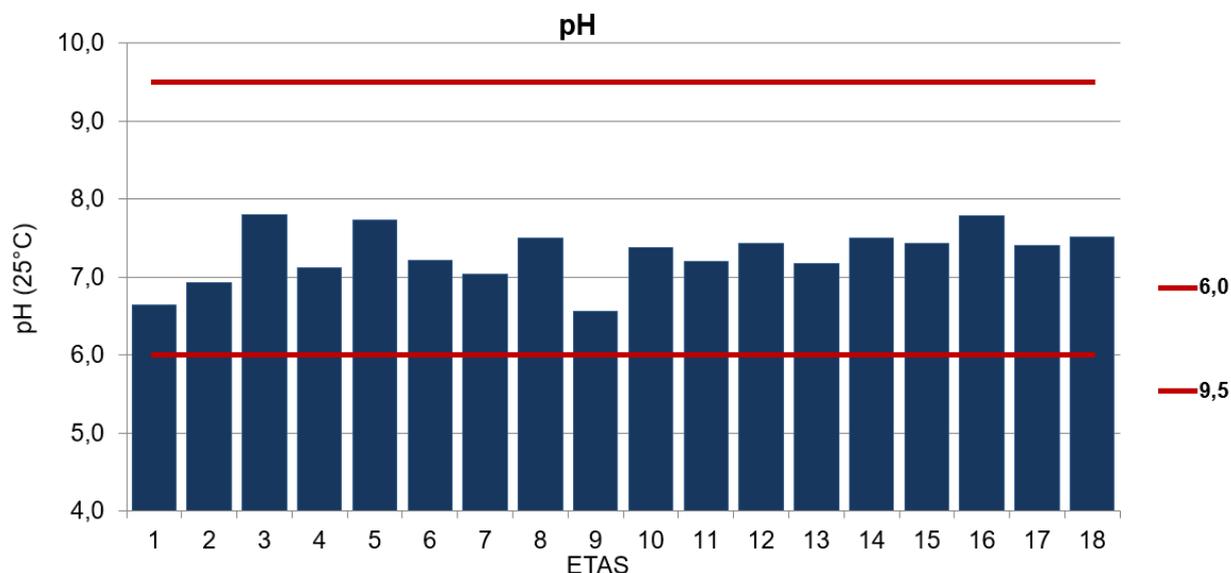
O Limite de Quantificação (LQ) é definido como a menor quantidade do analito em uma amostra que pode ser determinada com precisão e exatidão aceitáveis sob as condições experimentais estabelecidas. O LQ é um parâmetro determinado e é expresso como concentração do analito na amostra.

A cor de uma amostra de água está associada à presença de sólidos dissolvidos, como por exemplo, ácidos húmicos e fúlvicos, ferro, manganês, provocando repulsa psicológica por parte do consumidor, por associação com a poluição (PIVELI, 2005). Sabe-se que a presença de compostos orgânicos, em águas submetidas à desinfecção com cloro pode resultar na formação dos trihalometanos, que são compostos orgânicos potencialmente cancerígenos.

Para o controle da qualidade das águas nas estações de tratamento para abastecimento público, a determinação da cor é fundamental. Trata-se de um parâmetro operacional de controle da qualidade da água bruta, da água decantada e da água filtrada, servindo como base para a determinação das dosagens de produtos químicos a serem adicionados, dos graus de mistura, dos tempos de contato e de sedimentação de partículas floculadas (PIVELI, 2005).

### 5.1.3 Ph à 25°C

Gráfico 2 - Valores obtidos para pH (25°C)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode ser observado no Gráfico 2 que **todos os valores obtidos** para as amostras de águas coletadas nas dezoito (18) ETAs, encontraram-se de acordo com a PRC nº 05/17 MS, conforme o Anexo XX, Capítulo V, Art 39, § 1º que estabelece que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

O pH influencia na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, além de contribuir para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias e de definir o potencial de toxicidade de várias substâncias (FUNASA, 2014).

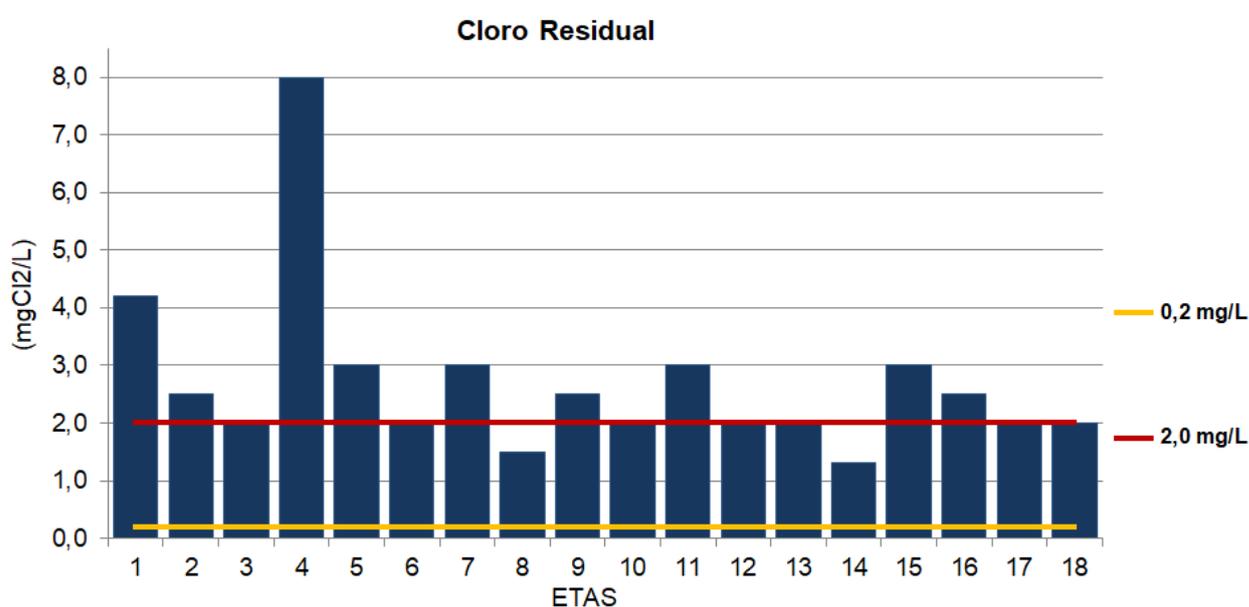
Segundo Macedo (2003), o conhecimento do pH de uma água permite o monitoramento do poder de corrosão, da quantidade de reagente necessário à coagulação, do crescimento de microrganismos, do processo de desinfecção, que tem a finalidade de reduzir o nível dos microrganismos e se a água em relação ao pH se enquadra dentro das legislações pertinentes.

De acordo com Miranda (2007), o controle do pH é importante antes, durante e depois do tratamento de água. Inicialmente, deve-se fazer a correção do pH (caso necessário), pois diversos produtos químicos funcionam de acordo com o esperado em uma faixa determinada de pH. Ao final do tratamento, pode, também, ocorrer a necessidade de correção, pois o pH inadequado pode interferir na eficiência da desinfecção com o cloro.

A correção do pH da água tratada é um procedimento utilizado nas ETAs com a finalidade, também, de prevenir o processo de corrosão das estruturas metálicas do sistema de distribuição que é provocado pela acidez da água, consequência da presença de gás carbônico dissolvido. Já nas águas com pH elevado há tendência de formação de incrustações nas tubulações.

#### 5.1.4 Cloro Residual Livre ( $\text{mgCl}_2\cdot\text{L}^{-1}$ )

Gráfico 3 - Valores obtidos para Cloro Residual Livre ( $\text{Cl}_2$ )



Fonte: Elaborado pelo autor.

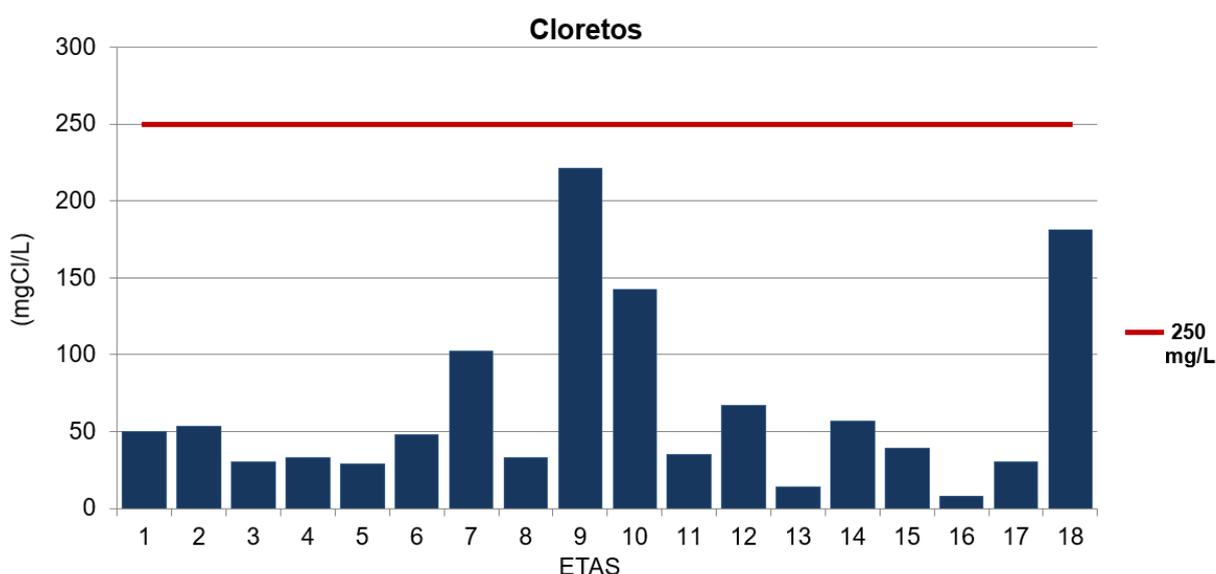
Verifica-se no Gráfico 3 que para as **ETAs 1, 2, 4, 5, 7, 9, 11, 15 e 16** os valores de  $\text{Cl}_2$  encontraram-se em desacordo com o valor estabelecido pela PRC nº 05/17 MS, que menciona em seu Artigo 39, § 2º que o teor máximo de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento seja de  $2 \text{ mgL}^{-1}$ . A **ETA 4** foi a que atingiu o maior valor analisado, chegando a  **$8,0 \text{ mgL}^{-1}$** .

Já para as demais **ETAs (3, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 17 e 18)** os valores de  $\text{Cl}_2$  encontraram-se de acordo com o estabelecido pela PRC nº 05/17 MS que menciona em seu Artigo 34 que é obrigatória a manutenção de, no mínimo, ( $0,2 \text{ mgL}^{-1}$ ) de cloro residual livre ou ( $2 \text{ mgL}^{-1}$ ) de cloro residual combinado ou de ( $0,2 \text{ mgL}^{-1}$ ) de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede).

A importância da manutenção de um teor de cloro residual livre na água tratada tem por objetivo a prevenção de contaminação da água ao longo do sistema de distribuição, além de servir de indicador de segurança da água distribuída. Porém, teores acima do valor máximo permitido (VMP) podem oferecer riscos à saúde da população.

### 5.1.5 Cloretos ( $\text{mgCl.L}^{-1}$ )

Gráfico 4 - Valores obtidos para Cloretos ( $\text{mgCl.L}^{-1}$ )



Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificou-se que em **todas as amostras** de águas coletadas nas dezoito (18) ETAs, as concentrações do íon  $\text{Cl}^-$  encontraram-se de acordo com o valor máximo permitido (VMP) estabelecido pela PRC nº 05/17 MS, de acordo com a tabela de padrão organoléptico de potabilidade que é de  $250,0 \text{ mgCl.L}^{-1}$ . Portanto, todas as amostras atendem ao padrão de potabilidade vigente para Cloretos.

A menor concentração de cloretos foi de  **$8,10 \text{ mgCl.L}^{-1}$**  para a amostra de água coletada na **ETA 16**, e a maior concentração foi de  **$221,10 \text{ mgCl.L}^{-1}$**  para a amostra de água coletada na **ETA 9**. Pode se verificar, também, que a ETA 9, que possui a maior concentração de cloretos, está localizada na mesorregião do Sertão Cearense, podendo ter relação com períodos de estiagem (período que as amostras foram coletadas) e o aumento da concentração de cloretos na água.

Outro fator que pode explicar os teores de cloretos na água se deve a adição de cloro puro ou em solução, podendo levar a uma elevação do nível de cloreto nas águas tratadas, resultante das reações de dissociação do cloro na água (BECKER, 2010).

Como mencionado anteriormente, concentrações muito elevadas de cloretos podem prejudicar a saúde de pessoas com doença cardíaca ou renal, embora a concentração de sais na alimentação seja muito mais significativa.

Segundo Pohling (2009), fisiologicamente, o cloreto não apresenta perigo, e o sabor salgado se manifesta em concentrações  $> 100,0 \text{ mgCl}^{-1}$ , dependendo também dos outros componentes dissolvidos na água. As águas que contêm cloreto na faixa de  $250,0 \text{ mgCl}^{-1}$  conferem sabor salgado quando o cátion é sódio.

Águas com altos teores de cloreto são corrosivas, atacam estruturas e recipientes metálicos, bem como afetam a fisiologia das plantas (BECKER, 2010).

### 5.1.6 Fluoretos ( $\text{mgF}^{-1}$ )

Tabela 5 - Valores obtidos para Fluoretos ( $\text{mgF}^{-1}$ )

<b>ETAS</b>	<b>FLUORETO</b> ( $\text{mgF}^{-1}$ )
ETA 1	$\leq \text{LQ}$
ETA 2	$\leq \text{LQ}$
ETA 3	$\leq \text{LQ}$
ETA 4	$\leq \text{LQ}$
ETA 5	$\leq \text{LQ}$
ETA 6	$\leq \text{LQ}$
ETA 7	$\leq \text{LQ}$
ETA 8	$\leq \text{LQ}$
ETA 9	$\leq \text{LQ}$
ETA 10	$\leq \text{LQ}$
ETA 11	$\leq \text{LQ}$
ETA 12	$\leq \text{LQ}$
ETA 13	$\leq \text{LQ}$
ETA 14	$\leq \text{LQ}$
ETA 15	$\leq \text{LQ}$
ETA 16	$\leq \text{LQ}$
ETA 17	$\leq \text{LQ}$
ETA 18	$\leq \text{LQ}$
<b>PRC N° 05/17</b>	$\leq 1,5$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se na Tabela 5 que para todas as amostras de águas coletadas nas dezoito (18) ETAs, os valores de fluoreto ( $F^-$ ) encontraram-se  $\leq LQ = 0,2 \text{ (mgF}^- \cdot L^{-1})$  **da curva de calibração**. Segundo a PRC nº 05/17 MS em seu Artigo 37, § 1º no caso de adição de flúor (fluoretação), os valores recomendados para concentração de íon fluoreto devem observar a Portaria nº 635/GM/MS de 26 de dezembro de 1975, não podendo ultrapassar o valor máximo permitido (VMP) expresso na tabela do Anexo 7 do Anexo XX, que estabelece **o valor máximo de  $1,5 \text{ mgF}^- L^{-1}$** . Portanto, todas as amostras atendem ao padrão de potabilidade vigente para Fluoretos.

A fluoretação da água para consumo humano é uma medida preventiva de comprovada eficácia, que reduz a prevalência de cárie dental.

Embora haja consenso da relação existente entre o uso do flúor e a redução de cárie dentária, pode-se afirmar que o flúor é uma substância tóxica quando ingerido em altas doses. Os efeitos desencadeiam distúrbios gástricos reversíveis e redução temporária da capacidade urinária, fluorose dentária ou esquelética e, eventualmente, até mesmo a morte, uma vez que, estão diretamente relacionados à dose, tempo de ingestão e idade (WHITFORD, 1996, apud FUNASA, 2012).

A quantidade de ingestão diária de flúor, normalmente aceita como ideal para o controle da cárie e segura para a prevenção de Fluorose, é de 0,05 a 0,07 mg de F/Kg massa corporal (BURT, 1992; BUZALAF; CURY; WHITFORD, 2001, *apud* RAMIRES E BUZALAF, 2005), embora ainda sejam necessários mais estudos para se determinar precisamente essa dose (FUNASA, 2012).

### 5.1.7 Coliformes Totais e *Escherichia coli*

Tabela 6 - Resultados obtidos para Coliformes Totais e *Escherichia coli*

ETAS	COLIFORMES TOTAIS	ESCHERICHIA COLI
ETA 1	Ausência	Ausência
ETA 2	Ausência	Ausência
ETA 3	Ausência	Ausência
ETA 4	Ausência	Ausência
ETA 5	Ausência	Ausência
ETA 6	Ausência	Ausência
ETA 7	Ausência	Ausência
ETA 8	Ausência	Ausência
ETA 9	Ausência	Ausência
ETA 10	Ausência	Ausência
ETA 11	Ausência	Ausência
ETA 12	Ausência	Ausência
ETA 13	<b>Presença</b>	Ausência
ETA 14	Ausência	Ausência
ETA 15	Ausência	Ausência
ETA 16	Ausência	Ausência
ETA 17	Ausência	Ausência
ETA 18	Ausência	Ausência
<b>PRC Nº 05/17</b>	Ausência em 100ml	Ausência em 100ml

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se na Tabela 6 que **houve presença de Coliformes Totais apenas para a amostra da ETA 13**, e em nenhuma ETA verificou-se a presença de *Escherichia coli*, confirmando que a desinfecção foi eficiente para todas as ETAs, exceto para a ETA 13.

A PRC nº 05/17 MS, cita em seu Artigo 27 que a água potável deve estar em conformidade com padrão microbiológico, de acordo com a Figura 11 abaixo.

Figura 11 - Tabela de Padrão Microbiológico da Água para Consumo Humano

Tipo de água		Parâmetro		VMP(1)	
Água para consumo humano		Escherichia coli(2)		Ausência em 100 mL	
Água tratada	Na saída do tratamento	Coliformes totais (3)		Ausência em 100 mL	
	No sistema de distribuição (reservatórios e rede)	Escherichia coli		Ausência em 100 mL	
		Coliformes totais (4)	Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes		Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo
			Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes		Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês.

Fonte: PRC nº 05/17 MS.

A PRC nº 05/17 MS, menciona ainda que no controle da qualidade da água, quando forem detectadas amostras com resultado positivo para coliformes totais, mesmo em ensaios presuntivos, ações corretivas devem ser adotadas e novas amostras devem ser coletadas em dias imediatamente sucessivos até que revelem resultados satisfatórios.

Conforme mencionado anteriormente, o padrão microbiológico serve para avaliar a probabilidade da presença de organismos patogênicos, que são capazes de causar sérios problemas intestinais, no caso de presença de *Escherichia coli*. Já os coliformes totais são usados para avaliar a qualidade da água tratada e da própria eficiência da potabilização.

## 6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos para as 18 ETAs analisadas, verificou-se que:

- Para o parâmetro **Turbidez**, **55,5% (10)** das ETAs analisadas atenderam ao padrão de potabilidade para Filtração Lenta e Rápida; **11,1% (2)** das ETAs analisadas atenderam apenas para Filtração Lenta; e **33,3% (6) das ETAs** analisadas não atenderam ao padrão de potabilidade vigente para nenhum tipo de filtração;

- Para o parâmetro **Cloro Residual Livre**, **50% (9)** das ETAs analisadas atenderam ao padrão de potabilidade vigente, que estabelece a faixa de 0,2 a 2,0 mgL<sup>-1</sup>; os outros **50% (9) das ETAs** não atenderam ao padrão, atingindo valores acima do teor máximo (2,0 mgL<sup>-1</sup>) estabelecido na Portaria;

- Para os parâmetros **Cor, pH, Cloreto e Fluoreto**, **100% (18)** das ETAs analisadas atenderam o estabelecido na Portaria PRC n° 05/17 do Ministério da Saúde;

- Para o parâmetro **Coliformes Totais**, **94,4% (17)** das ETAs analisadas atenderam ao padrão de potabilidade, apresentando ausência CT em uma amostra de 100 mL; e **5,6% (apenas 1)** ETA analisada não atendeu ao padrão de potabilidade, obtendo presença para uma amostra de 100 mL;

- Para o parâmetro ***Escherichia coli***, **100% (18)** das ETAs analisadas atenderam ao padrão de potabilidade, apresentando ausência em 100 mL de amostra.

Verifica-se, portanto, que das dezoito (18) ETAs analisadas, **apenas 6 ETAs atenderam** ao padrão de potabilidade vigente, para **todos os parâmetros analisados** (Turbidez, Cor, pH, Cloro Residual, Cloretos, Fluoretos, Coliformes Totais e *E. coli*), ou seja, **1/3 (33%) das ETAs analisadas**.

Apesar disso, ao final do tratamento, apenas 1 (uma) ETA obteve presença de CT, ou seja, todas as outras 17 ETAs obtiveram um bom resultado para os parâmetros microbiológicos, com ausência de CT e *E. coli*.

Conclui-se, portanto, que a qualidade da água que está sendo distribuída, apresentou-se **satisfatória**, principalmente pela garantia da eficiência na desinfecção, que foi verificada nas 17 amostras que obtiveram bons resultados microbiológicos.

Segundo WHO (2011), conforme citado por ANA (2011), episódios curtos de contaminação microbiológica podem desencadear facilmente surtos de doenças gastrointestinais nos consumidores, diferentemente de episódios de contaminação química, que poderiam constituir um risco agudo à saúde, porém são raros.

Portanto, a desinfecção eficiente assegura a redução dos riscos de transmissão de doenças de veiculação hídrica, garantindo, dessa forma, uma água boa para consumo humano.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12216**: Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Guia Nacional de Coleta e Preservação Amostras. Água, Sedimentos, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos**. Brasília: ANA, 2011. p. 326.

\_\_\_\_\_. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019. p. 75.

AMARAL, Luiz Augusto do et al . **Água de Consumo Humano como Fator de Risco à Saúde em Propriedades Rurais**. Rev. Saúde Pública, São Paulo , v. 37, n. 4, p. 510-514, ago. 2003. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-89102003000400017&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102003000400017&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em 15 set. 2020.

APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 22st ed. Washington, 2012.

BECKER, H. **Controle Analítico de Águas**. Versão 4. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2010. 84 p.

BERNARDO, L. DI; PAZ, L. P. S. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos: LDiBe, 2010. p. 868.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Análise de Indicadores Relacionados à Água para Consumo Humano e Doenças de Veiculação Hídrica no Brasil, ano 2013, Utilizando a Metodologia da Matriz de Indicadores da Organização Mundial da Saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação (PRC) Nº 05, de 28 de setembro de 2017**, Anexo XX. Brasil, 2017. Disponível em: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>. Acesso em: 25 out. 2020.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de Controle da Qualidade da Água para Técnicos que Trabalham em ETAS** – Brasília. 2014. 112 p.

\_\_\_\_\_. **Manual de Fluoretação da Água para Consumo Humano**. Brasília: Funasa, 2012. 72 p.

\_\_\_\_\_. **Manual de Saneamento**. 4. ed. Brasília: Funasa, 2015. 642 p.

\_\_\_\_\_. **Manual de Saneamento**. 3. ed. Brasília: Funasa, 2007. 408 p.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio de (org.). **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016. 418 p. 1 v.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. Campinas, Editora Átomo, 3ª Ed, 2010.

MACEDO, J. A. B. de. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas**. 2ª Edição. Editado por CRQ-MG. Belo Horizonte, 2003. 450 p.

MEYER, S. T. **O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública**. Cad. Saúde Públ., Rio de Janeiro, 10 (1): 99-110, jan/mar, 1994.

MIRANDA, LUIS ALCIDES SCHIAVO. **Sistemas e Processos de Tratamento de Águas de Abastecimento**. Porto Alegre (S.n.), 2007. 148p.

PIVELI, R. P.; KATO, M.T. **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos**. 01. São Paulo/ SP: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, v.01. 285p.

POHLING, ROLF. **Reações Químicas na Análise de Água**. Fortaleza. Março, 2009.

RIO DE JANEIRO. Cedae. Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (org.). **GUANDU**. Disponível em: [https://www.cedae.com.br/portals/0/livreto\\_guandu.pdf](https://www.cedae.com.br/portals/0/livreto_guandu.pdf). Acesso em: 14 set. 2020.

SUETÔNIO, M. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro, ABES, 1ª Ed, 1997.

VIANNA, M. R. **Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento de Água**. Belo Horizonte: Instituto de Engenharia Aplicada, 1992. p. 344

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgoto**. 2 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996. 243p.