



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO MARAJÓ–BREVES
FACULDADE DE CIÊNCIAS NATURAIS

NERIVALDO PEREIRA SANCHES
RENAN VIEIRA GIBSON

**INVESTIGAÇÃO SOBRE A CONCENTRAÇÃO DE FERRO EM ÁGUAS DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO NO MUNICÍPIO DE BREVES (PA)**

BREVES-PA
2019

NERIVALDO PEREIRA SANCHES
RENAN VIEIRA GIBSON

**INVESTIGAÇÃO SOBRE A CONCENTRAÇÃO DE FERRO EM ÁGUAS DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO NO MUNICÍPIO DE BREVES (PA)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Ciências Naturais da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Marajó- Breves como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Ciências Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Manolo Cleiton Costa de Freitas.
Co-Orientador: Dr. Leandro Marques Correia

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo autor**

S211i

Sanches, Nerivaldo Pereira

Investigação sobre a concentração de ferro em águas de abastecimento público no município de Breves (PA) / Nerivaldo Pereira Sanches, Renan Vieira Gibson . — 2019.
49 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Manolo Cleiton Costa de Freitas

Coorientador(a): Prof. Dr. Leandro Marques Correia

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Ciências Naturais, Campus Universitário de Breves, Universidade Federal do Pará, Breves, 2019.

1. Qualidade da água. 2. Abastecimento público. 3. Concentração de ferro. I. Título.

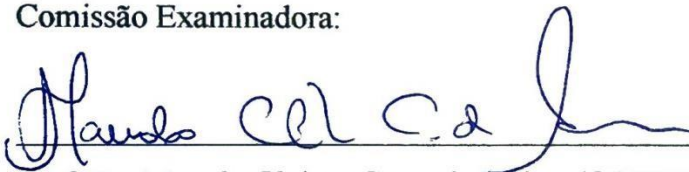
CDD 363.61

NERIVALDO PEREIRA SANCHES
RENAN VIEIRA GIBSON

**INVESTIGAÇÃO SOBRE A CONCENTRAÇÃO DE FERRO EM ÁGUAS
DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NO MUNICÍPIO DE BREVES (PA)**

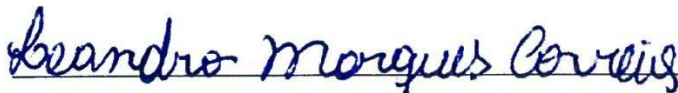
Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Ciências Naturais da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Marajó-Breves como requisito parcial para obtenção do grau de Licenciado em Ciências Naturais, aprovado com conceito: EXCELENTE.

Comissão Examinadora:



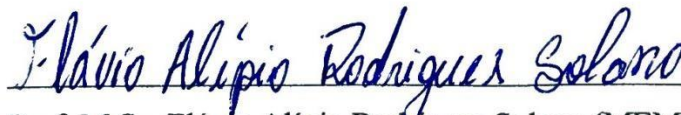
Prof. Dr. Manoel Cleiton Costa de Freitas (ORIENTADOR)

UFPA-FACIN-BREVES



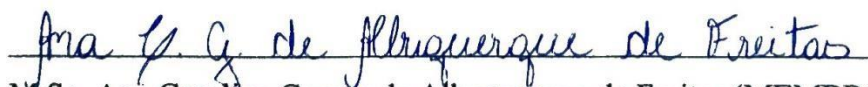
Dr. Leandro Marques Correia (CO-ORIENTADOR)

UFPA-FACIN-BREVES



Prof. M.Sc. Flávio Alípio Rodrigues Solano (MEMBRO-EXTERNO)

IFPA-BREVES



M.Sc. Ana Carolina Gomes de Albuquerque de Freitas (MEMBRO-EXTERNO)

IFPA-BREVES

Breves (PA), 14 de novembro de 2019.

Dedicamos este Trabalho de Conclusão de Curso a todas as pessoas que acreditaram em nós e que sempre nos incentivaram com palavras de apoio, como nossos pais, esposas, amigos, demais familiares e professores, que foram de fundamental importância no nosso processo de formação durante a caminhada no curso de Ciências Naturais.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter nos dado força e perseverança neste longo caminho de estudos; A Universidade Federal do Pará, pela oportunidade;

A Universidade Federal do Ceara, por disponibilizar equipamento e pessoal para análise das amostras;

Aos professores da faculdade de Ciências Naturais que contribuíram para nosso desenvolvimento acadêmico durante o curso;

Ao nosso Orientador prof. Dr. Manolo Cleiton Costa de Freitas por todos os ensinamentos repassados durante o curso e finalização do TCC;

Ao nosso Co-Orientador Dr. Leandro Marques Correia, que sempre esteve presente em todas as etapas desenvolvidas na elaboração e execução da pesquisa.

Nerivaldo Pereira Sanches

A minha Mãe Maria Inês Gomes Pereira Sanches, que sempre me apoiou e incentivou; A meu Pai João Coutinho Sanches, por sempre me ajudar nos momentos de dificuldade;

A minha esposa Carolina Belo, por ter me ajudado nos momentos difíceis e ter aturado esses intermináveis 4 anos afastados;

Aos colegas que conquistei ao longo desses anos, pessoas incríveis que jamais esquecerei e que vão deixar saudades e muitas lembranças, especialmente estes: Diego Ribeiro, Jhony Leão, Ronald Garcia entre outros.

Renan Vieira Gibson

À minha mãe Rosalena da Rocha Vieira, pelo apoio incondicional;

Ao meu irmão Roberson Vieira Gibson, por sempre me ajudar quando precisei;

Aos meus filhos Ryan Lorenzo Leão Gibson e Renzo Leonardo Leão Gibson por serem as bênçãos e razões da minha vida;

À minha esposa Carla Lorena Leão Amaral por estar sempre ao meu lado, me dando forças e apoio moral;

Ao meu tio Dennis Jorge Vieira Jennings, por estar presente em todos os momentos da minha vida, sendo exemplo de caráter e humildade para nossa família, sendo de fundamental importância para a minha formação pessoal;

Ao meu colega de turma e Trabalho de Conclusão de Curso Nerivaldo Pereira Sanches por toda a ajuda necessária durante o curso de Ciências Naturais.

“Eis a minha experiência: aqueles que cultivam a maldade e semeiam a miséria são também os que as colhem”.

(Jó 4,8)

RESUMO

O ferro está entre os padrões de potabilidade da água estabelecidos pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, limitado a $0,30 \text{ mg.L}^{-1}$, estabelecido em função de problemas estéticos relacionados à presença do ferro na água e do sabor que o mesmo lhe confere. Os estados de oxidação do ferro são Fe^{+2} e Fe^{+3} , sendo que o íon ferroso (Fe^{+2}) é mais solúvel do que o férrico (Fe^{+3}), apesar de não se constituírem em substâncias tóxicas resultam em diversos problemas para o abastecimento público de água, principalmente para pessoas carentes que não dispõem de recursos para fazer um tratamento adequado em sua residência. O objetivo do presente trabalho foi fazer uma investigação sobre a concentração de ferro total em águas de abastecimento público municipal localizada no Bairro Riacho Doce na cidade de Breves (PA). As amostras foram preparadas e analisadas sob as mesmas condições das soluções padrões de calibração em duplicata. As análises da água foram realizadas pelo método de absorção atômica por chama, dessa forma todas as amostras passaram por um procedimento de pré-tratamento para a remoção de matéria orgânica, contudo os resultados de todas as amostras se mostraram fora dos padrões de qualidade estabelecidos pelos órgãos governamentais, algumas estão mais de 20 vezes acima do valor máximo tornando a água imprópria tanto para o consumo como para o uso doméstico.

Palavras-chave: Ferro total, Abastecimento público e potabilidade.

ABSTRACT

Iron is among water potability standards established by Ministry of Health Ordinance No. 2914/2011, limited to 0.30 mg.L^{-1} , established due to aesthetic problems related to the presence of iron in the water and its taste. Give it to him. Iron oxidation states are Fe^{+2} and Fe^{+3} , and ferrous ion (Fe^{+2}) is more soluble than ferric (Fe^{+3}), although not toxic substances result in several problems. Public water supply, especially for needy people who do not have the resources to properly treat their homes. The objective of the present work was to investigate the total iron concentration in municipal water supply located in the Riacho Doce neighborhood in the city of Breves (PA). Samples were prepared and analyzed under the same conditions as standard duplicate calibration solutions. Water analyzes were performed by the flame atomic absorption method, thus all samples underwent a pre-treatment procedure for the removal of organic matter, however the results of all samples are outside the quality standards established by the organs. Some are more than 20 times the maximum making water unsuitable for both consumption and home use.

Keywords: Total Iron, Water Supply and.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Microrregiões do Marajó.....	26
Figura 2 -	A: Território do Município de Breves; B: Destaque da cidade de Breves as margens do Rio Parauaú; C: Bairro Riacho Doce (local das coletas)....	27
Figura 3 -	A - Poço; B - Interior do anel do poço; C – Tubulação.....	29
Figura 4 -	Aerador tipo tabuleiro.....	30
Figura 5 -	A: Aerador e filtro (setas mostrando a trajetória da água); B: Sedimento da parede do filtro; C: Compartimento 1 (círculo mostrando furo para atalho da água) e 2 do filtro; D: Compartimento 2 do filtro.....	31
Figura 6 -	A: Cisterna; B: Interior da cisterna abastecida; C: Encanamento vindo do filtro para abastecimento da cisterna.....	32
Figura 7 -	A: Reservatório de água; B: Bombas para impulsão da água para o reservatório; C: Válvula de saída de água para o consumidor.....	33
Figura 8 -	Curva de calibração da análise de ferro.....	35
Figura 9 -	Concentração de ferro total das amostras coletadas no poço de captação.	38
Figura 10 -	Concentração de ferro total das amostras coletadas no filtro.....	39
Figura 11 -	Concentração de ferro total das amostras coletadas na cisterna.....	40
Figura 12 -	Concentração de ferro total das amostras coletadas no reservatório de água da estação de abastecimento.....	41
Figura 13 -	Concentração de ferro total das amostras coletadas na residência do consumidor 1 (próximo da estação).....	42
Figura 14 -	Concentração de ferro total das amostras coletadas na residência do consumidor 2 (distante da estação).....	42
Figura 15 -	Resultados médio obtidos de concentração de ferro total nas amostras de águas.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades físicas de alguns hidretos simples.....	13
Tabela 2 - Distribuição da água em nosso planeta.....	15
Tabela 3 - População da microrregião dos Furos de Breves.....	26
Tabela 4 - Parâmetros instrumentais da absorção atômica com chama.....	36
Tabela 5 - Datas das coletas realizadas.....	37

LISTA DE SIGLAS

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COSANPA - Companhia de Saneamento do Pará

ETA - Estação de Tratamento de Água

FS – Fast Sequential

G - Grande

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LTDA - Sociedade Limitada

M - Médio

NBR - Norma Brasileira

OMS - Organização Mundial da Saúde

P.A - para análise

PA - Pará

PET - politereftalato de etileno

pH - Potencial Hidrogeniônico

PVC - policloreto de vinila

SUS - Sistema Único de Saúde

UFC - Universidade Federal do Ceará

USGS – United States Geological Survey

WHO - World Health Organization

WRI - World Resources Institute

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Distribuição de água na terra.....	15
1.2	Águas subterrâneas.....	18
1.3	Qualidade da água.....	19
1.4	Ferro.....	20
1.5	Excesso de ferro na água.....	22
1.6	Remoção do excesso de ferro.....	23
2	OBJETIVO.....	24
2.1	Objetivo geral.....	24
2.2	Objetivos específicos.....	24
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1	Material.....	25
3.2	Métodos.....	25
3.2.1	Levantamento da área do estudo.....	25
3.2.2	Definição dos pontos de amostragem.....	27
3.2.3	Caracterização dos pontos de coleta da Estação.....	28
3.2.4	Procedimento de coleta e preservação das amostras.....	34
3.2.5	Análise de ferro.....	34
3.2.6	Curva de calibração.....	35
3.2.7	Parâmetros instrumentais da análise.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1	Resultados individuais.....	38
4.1.1	Ponto 1.....	38
4.1.2	Ponto 2.....	39
4.2.3	Ponto 3.....	39
4.1.4	Ponto 4.....	40
4.1.5	Ponto 5.....	41
4.1.6	Ponto 6.....	42
4.2	Média dos resultados obtidos.....	43
5	CONCLUSÃO.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso de suma importância para a existência e manutenção da vida, na configuração que conhecemos. Os primeiros vestígios de vida se desenvolveram na água, e seria difícil idealizar a sobrevivência de qualquer forma de vida na ausência deste recurso precioso (GRASSI, 2001). É naturalmente encontrada presente em proporções elevadas na constituição de todos os seres vivos e no homem atinge aproximadamente 75% de sua massa corporal (LEMOS, 2011).

A água tem sido um bem de extrema importância para o homem, no antigo Egito, após a revolução agrícola que ocorreu cerca de 5.000 anos antes de Cristo, a descoberta de que a produção de alimentos dependia da oferta de água, fez com que as cidades se desenvolvessem próximas a rios que atendessem às suas demandas domésticas e agrícolas. Posteriormente, a água corrente também passou a ser empregada na movimentação de máquinas que cortavam madeira, em moinhos de grãos e finalmente em processos industriais (GRASSI, 2001).

Certamente, a água é a espécie química mais abundante da superfície da Terra. O planeta Terra é o único do sistema solar no qual essa substância pode ser encontrada naturalmente, nos três estados físicos: sólido (gelo), líquido (água líquida) e gasoso (vapor), e as modificações de estado físico da água no ciclo hidrológico são essenciais e influenciam os processos biogeoquímicos nos ecossistemas terrestres e aquáticos (TUNDISI, 2003a).

Comparada com outros hidretos, a água apresenta temperaturas de fusão e ebulição bem mais elevadas, conforme pode ser observado na tabela 1. Estas características são de fundamental importância para a existência de vida na Terra, uma vez que a forma líquida é o estado físico predominante (BUNCE, 1993).

Tabela 1 - Propriedades físicas de alguns hidretos simples.

Substância	CH₄	NH₃	H₂O	HF	H₂S
Ponto de fusão, ° C	-182	-78	0	-83	-86
Ponto de ebulição, ° C	-164	-33	+100	+19	-61

Fonte: Grassi (2001).

Outra característica importante da água, mas pouco usual, é que a forma líquida apresenta uma densidade maior que a forma sólida. Normalmente, a solidificação da água ocorre no inverno, em inúmeros rios e lagos localizados no hemisfério norte de nosso planeta.

Através dessa propriedade o gelo se concentra na superfície, e no verão, com o aumento da temperatura, a fusão acontece naturalmente. Se o oposto fosse verdade, durante os períodos de baixas temperaturas, as águas, ao se congelarem, se depositariam no fundo dos rios e lagos. Sob estas condições, provavelmente não se fundiriam novamente no verão (GRASSI, 2001).

Segundo Tundisi (2006), a principal especialidade da água referente à sua disponibilidade e distribuição no planeta, é a partir do ciclo hidrológico. Este ciclo é contínuo, em que a água no estado líquido evapora-se da superfície da Terra, dos oceanos e de outras reservas e, pelo movimento dos ventos, incorpora-se à atmosfera no estado gasoso, sendo transportado para os continentes e retornando ao estado líquido em forma de chuva ou neve, através da energia solar.

Anualmente, a energia do sol faz com que um volume aproximado de 500 mil km³ de água se evapore, principalmente dos oceanos (FERNANDES *et al.*, 2008). A velocidade do ciclo hidrológico variou de uma era geológica a outra, bem como o volume de águas doces e águas marinhas (TUNDISI, 2006).

Embora o ciclo hidrológico seja único para todo o planeta, as suas especificações não são homogêneas, o volume de cada um de seus componentes varia nas diferentes regiões do planeta e por bacia hidrográfica (PIELOU, 1998). Com isso, ocorre a distribuição desigual da água na Terra. Há 26 países com escassez de água e pelo menos 4 países (Kuwait, Emirados Árabes Unidos, Ilhas Bahamas, Faixa de Gaza – território palestino) com extrema escassez de água (TUNDISI, 2003b).

No Município de Breves (PA) o abastecimento de água é feito pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), no entanto, o fornecimento não abrange todos os bairros da cidade, pois devido ao crescimento populacional, principalmente nas regiões periféricas, houve a necessidade de aumentar os serviços de abastecimento. Entretanto, a empresa não ampliou as redes para essas áreas periféricas, ficando restrito a apenas os bairros centrais da cidade onde já continha redes de encanamento para o abastecimento. As razões para a falta de interesse em aumentar os serviços é que a COSANPA de Breves gera prejuízos para a empresa, por não haver arrecadação pelos serviços prestados e nem a ajuda do município para custear, pelo menos, os materiais usados no tratamento. Com isso, os funcionários precisam solicitar com antecedência para não faltar os produtos necessários.

No bairro Riacho Doce, região periférica, a água é fornecida através de uma pequena estação de abastecimento subordinada à prefeitura municipal. Nesta, segundo os funcionários, não acontece nenhum tipo de tratamento químico, o que gera bastante reclamação dos

moradores locais a respeito da coloração e gosto da água disponibilizada, insinuando um alto teor de ferro. Com isso, a pesquisa foi realizada buscando conferir a quantidade de ferro na água fornecida pelo município, confrontando estes valores com os limites para potabilidade recomendados pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde e pela Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

1.1 Distribuição de água na terra

Necessita-se de água doce para sobreviver, entretanto, aproximadamente 97,5% da água de nosso planeta é salgada, ou seja, imprópria para ingestão humana. Apenas 2,5%, que contemplam o total de água existente é doce, entretanto, 2/3 estão armazenados nas geleiras e calotas polares em estado sólido. Apenas cerca de 0,77% de todo o total de água está disponível para o nosso consumo, sendo encontrada na forma líquida em rios, lagos, águas subterrâneas, incluindo a água presente no solo, na atmosfera (umidade) e na biota. A água potável, portanto, é um recurso extremamente reduzido (GRASSI, 2001). No Brasil encontra-se aproximadamente 16% da água doce disponível do planeta, distribuídas desigualmente em suas regiões (TUNDISI, 2003b).

Tabela 2 - Distribuição da água em nosso planeta.

Reservatórios	Volume, km³	Percentual, %
Oceanos	1.320.305.000	97,24
Geleiras e calotas polares	29.155.000	2,14
Águas Subterrâneas	8.330.000	0,61
Lagos	124.950	0,009
Mares	104.125	0,008
Umidade do solo	66.640	0,005
Atmosfera	12.911	0,001
Rios	1.250	0,0001
Total	1.358.099.876	100

Fonte: USGS (1999).

No planeta Terra, a água está presente em diferentes aposentos, conforme pode ser observado na tabela 2. A quantidade de água presente em cada um destes compartimentos, assim como o seu tempo de residência, varia bastante. Os oceanos formam o maior destes aposentos, onde a água tem um tempo de residência de aproximadamente 3 mil anos. Eles são ainda a fonte da maior parte do vapor d'água que surge no ciclo hidrológico, sendo grandes acumuladores do calor proveniente do sol. Os oceanos exercem um papel fundamental no clima da Terra (GRASSI, 2001).

O segundo maior reservatório de água do planeta e o primeiro quando o assunto é água doce são as geleiras e calotas polares. O continente Antártico contém aproximadamente 85% de todo o gelo existente no mundo. O restante pode ser encontrado no Oceano Ártico e ainda na Groenlândia (GRASSI, 2001).

Corpos de água doce em contato direto com a atmosfera são titulados, coletivamente, de águas superficiais que abrangem os lagos e reservatórios. A concentração de sais na água faz com que as águas superficiais sejam divididas em duas grandes categorias. Águas doces se diferenciam de águas salgadas pelo seu baixo teor de sais, sendo normalmente encontradas em rios e lagos (GRASSI, 2001).

A reposição da água doce encontrada no planeta é responsabilidade, principalmente, do ciclo hidrológico, através da evaporação das águas oceânicas e da precipitação (MANAHAN, 1997). No entanto, a ocorrência de chuva no planeta ocorre de forma bastante diferenciada. As densas florestas brotam em regiões com índices elevados de chuva, dessa forma, existe água suficiente para toda a biota natural, assim como para os seres humanos. Outras regiões se constituem em desertos pela, praticamente, ausência de chuvas. Em virtude disto, podemos imaginar volumes bastante variáveis de água circulando sobre diferentes regiões do globo (GRASSI, 2001).

Existe ao redor do planeta inúmeros casos de ecossistemas em estresse devido à escassez de água. Além disso, em regiões mais secas, principalmente aquelas com alta densidade populacional, cresce o número de conflitos e disputas existentes entre países que dispõem da mesma fonte de água em função das necessidades humanas, atividades agrícolas, urbanas e industriais (ORTOLANO, 1997).

As alterações globais no planeta causam mudanças no ciclo hidrológico, que deverão acarretar impactos na evaporação, no balanço hídrico e na biodiversidade dos sistemas aquáticos (TUNDISI, 2006). Além disso, as expectativas para o futuro não são nada promissoras, dois terços da população mundial estarão vivendo em regiões com estresse

hídrico em 2025. Em diversos países em desenvolvimento, a pouca disponibilidade de recursos hídricos afetará o crescimento e a economia, a poluição permanecerá afetando as águas continentais e costeiras e o uso inadequado do solo afetará bacias hidrográficas, águas costeiras e estuários (WATSON *et al.*, 1998).

Segundo Tundisi (2003a), a partir dos resultados de análises de especialistas do Instituto Mundial de Recursos – *World Resources Institute* (WRI), os volumes de água disponíveis e as consequências dos usos múltiplos apontam para uma crise sem precedentes na história da humanidade. Grassi (2001) ressalta que os especialistas acreditam que dentro de no máximo 2 ou 3 anos, teremos no mundo uma crise relacionada com a disponibilidade de água de qualidade semelhante à do petróleo, em 1973.

Mesmo o Brasil não deverá escapar da crise hídrica que está sendo prevista. Vale destacar que mais de 80% de todo o volume de águas superficiais disponíveis no Brasil se localiza na região amazônica. Os 20% restantes estão distribuídos por todo o país, de modo pouco uniforme, e se destinam a abastecer aproximadamente 95% da população brasileira (REBOUÇAS *et al.*, 1999).

A disponibilidade de água de qualidade já é problema sério, com regiões e países à beira do colapso (MARGAT, 1998). A situação também é preocupante na China, Estados Unidos, Hungria, Índia, México e Tailândia (COSTA, 2007). A disponibilidade de menos de 1000 m³/hab./ano já representa condição de “estresse hídrico” e menos de 500 m³/hab./ano conforma em “escassez hídrica” (FALKENMARK, 1986).

O constante aumento no volume de água utilizada, o aumento da poluição e a contaminação hídrica tem causado a degradação dos mananciais e do abastecimento de água, fazendo com que uma das principais consequências dessa deterioração seja na saúde humana, refletindo no aumento da mortalidade infantil e das internações hospitalares, além dos elevados custos econômicos para recuperar as fontes de água para abastecimento (TUNDISI, 2003b).

De todas as substâncias absorvidas pelas plantas, a água é a necessária em maior quantidade por ser o principal constituinte das células vegetais, podendo atingir até 95% do peso total (SUTCLIFFE, 1980). A água é fundamental na produção das plantas, pois participa de todos os fenômenos físicos, químicos e biológicos vitais ao seu desenvolvimento (FERNANDES *et al.*, 2008).

O Brasil se destaca no cenário mundial pela quantidade enorme de água doce dos seus rios. Porém, mesmo possuindo grandes bacias hidrográficas, ainda sofre com a carência de

água, devido à má distribuição feita pela massa populacional dominante, que cresce de maneira rápida e exagerada concentrada em áreas de disponibilidade hídrica insuficiente (COSTA, 2007).

1.2 Águas subterrâneas

As águas subterrâneas representam uma margem de 98,8% da água potável líquida disponível, entretanto, apenas metade é aproveitada, já que a outra parte é localizada a profundidades maiores que 800m, dificultando a captação (SETTI, 1995). Como se encontra no subsolo, as águas em aquíferos, tem mais proteção contra contaminação do que as águas superficiais. Apesar disso, as águas subterrâneas podem apresentar problemas de qualidade, causando uma limitação do seu uso. Dentre estes, o que ocorre com maior frequência consiste na presença de ferro dissolvido em teores elevados (PICANÇO, 2002).

Os aquíferos são formações rochosas porosas, onde as águas subterrâneas são armazenadas, estas águas sofrem influência pela composição química e minerais contidos nas rochas (GRASSI, 2001). O abastecimento das reservas subterrâneas acontece pela infiltração lenta das águas superficiais pelo solo, essas águas se acomodam em diferentes profundidades, sendo sustentadas pela pressão, em diversas vezes. Através das águas subterrâneas os poços utilizados nas zonas rurais são abastecidos, além de ser utilizada como fonte de abastecimento para pequenas e médias cidades (FERNANDES *et al.*, 2008).

Os poços nomeados de artesianos, especialmente os de grande profundidade, cuja altura supera o nível natural de água do lençol freático, formam importantes fontes, dados a ausência quase completa de microrganismos em suas águas (FERNANDES *et al.*, 2008). Entretanto, as águas subterrâneas têm um custo superior ao de águas superficiais, é uma reserva considerada estratégica que deve ser protegida e não pode ter tratamento distinto das águas de superfície. Os fluxos de águas dos depósitos subterrâneos se mantêm abundantes com as águas das chuvas. No entanto, quando o uso superar a recarga natural desses mananciais, começará a surgir problema de escassez (RODRIGUEZ, 1991).

A exploração apropriada de águas subterrâneas deixou várias regiões do planeta acima do valor mínimo de água per capita de 1000 m³/hab./ano, um exemplo é a cidade nordestina de Recife, no Brasil (NEBEL & WRIGHT, 2000).

1.3 Qualidade da água

A questão da qualidade da água disponível é tão ou mais importante que a quantidade de água disponível. Nosso planeta está inundado por um volume de quase 1,4 bilhão de km³ d'água, cobrindo 71% da superfície da Terra. Apesar de toda essa fartura, muitas localidades ainda sofrem com a falta de água com características adequadas de potabilidade para consumo humano (GRASSI, 2001). É preciso compreender que a qualidade da água se refere às características químicas, físicas e biológicas, e que, segundo esses atributos, são estipuladas distintas finalidades. Dessa forma, a política normativa nacional, por meio da resolução número 357 do CONAMA, procurou estabelecer parâmetros que determinam os limites aceitáveis de corpos estranhos, considerando os diferentes fins.

O consumo de água para os mais variados fins vem aumentando continuamente e sua disponibilidade com qualidade apropriada está se tornando cada vez mais escassa. Os recursos hídricos são renováveis, porém finitos. Deste modo, a sua preservação se torna ainda mais importante e o manejo precisa ser revisto pelos países. A falta de água é um problema ambiental, onde as consequências tendem a serem cada vez mais graves. Atualmente, mais de um bilhão de pessoas sofrem com a carência de água limpa, que se tornou insuficiente para suprir suas necessidades fundamentais cotidianas (FERNANDES *et al.*, 2008).

A condição da água tem se deteriorado de forma significativa ao redor do planeta, principalmente nos últimos 50 anos. Problemas ocasionados pela poluição da água se intensificaram, especialmente, no período pós-guerra. Para facilitar a compreensão, a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) definiu poluição como “qualquer substância que possa tornar o meio ambiente impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna, à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”. Assim, qualquer substância que se enquadre em alguma dessas definições estabelecidas é denominada poluente (GRASSI, 2001).

Vários fatores influenciam na qualidade da água. Entre eles estão os fatores biológicos, que compreende organismos como as bactérias do grupo coliforme fecal. Também existem os fatores físico-químicos, onde estão incluídos: acidez, alcalinidade, cor, dureza total, pH, temperatura, turbidez e substâncias químicas como ferro, chumbo, flúor, cloro, entre outros (CIMINELLI, 2014).

O Ministério da Saúde, órgão que controla e fiscaliza a condição da água para consumo humano, pela portaria nº 2914/2011 e o CONAMA pela Resolução nº 357/2005, estabeleceram padrões de qualidade mínima para o consumo e utilização da água. Caso os fatores estiverem fora dos padrões de qualidade exigidos, podem ocasionar riscos à saúde, como doenças relacionadas com microrganismos associados à veiculação hídrica decorrentes do tratamento inadequado da água (TEXEIRA, 2002).

Entre os anos de 1985 e 2000 a oferta de água potável disponível para cada habitante do planeta diminuiu aproximadamente 40% (NEBEL & WRIGHT, 2000). Enquanto a quantidade de água potável para o consumo humano diminuiu drasticamente, o consumo vem aumentando devido ao crescimento populacional. Entre 1940 e 1990, o consumo total de água saltou de 1 mil, para 4,13 mil km³/ano. As expectativas só pioram quando olhamos as previsões para o século atual (GHASSEMI *et al.*, 1995).

Com o aumento da população e a insuficiência do Estado para promover a preservação da água doce, a qualidade desse recurso finito tende a piorar, especialmente, pela poluição dos reservatórios naturais. Anualmente, aproximadamente doze milhões de pessoas morrem vítimas de problemas causados pela qualidade da água. No Brasil, o Sistema Único de Saúde (SUS) destaca que 80% das internações hospitalares estão relacionadas com enfermidades ocasionadas pela qualidade imprópria da água para consumo humano (MERTEN & MINELLA, 2002).

O maior consumidor de água da Terra é a agricultura, principalmente através da irrigação, que retira quase 70% da água potável do planeta. A água empregada na irrigação, não regressa para a mesma fonte de onde foi retirada, tendo um uso denominado consuntivo. As atividades industriais, por sua vez, que consomem aproximadamente 23% da água potável, exercem o uso não consuntivo, essas águas apesar de muitas vezes estarem contaminadas por resíduos, retornam para a fonte primária, onde permanece disponível para a reutilização. Por último, o ser humano é responsável pelo consumo de 8% da água de boa qualidade, através do uso direto (GRASSI, 2001).

1.4 Ferro

O ferro é um dos metais mais conhecidos hoje em dia, é um elemento químico encontrado no estado sólido à temperatura ambiente, devido ao seu alto ponto de fusão de

1535 °C e ebulição de 2750 °C. Classificado como metal de transição de símbolo Fe com número atômico 26 e massa atômica igual a 55,845 g.mol⁻¹. Pertence ao grupo 8 da tabela periódica com quatro isótopos naturais conhecidos: ⁵⁴Fe, ⁵⁶Fe, ⁵⁷Fe e ⁵⁸Fe (VAITSMAN *et al.*, 2001).

O ferro é um dos metais com maior abundância na crosta terrestre, e com as mudanças no clima, carência de manutenção do solo, pastagem extensiva com probabilidade erosiva e o intemperismo das rochas, que fazem parte da bacia de drenagem, promovem de maneira acelerada a chegada desta substância aos locais de coleta de água da população (FRANCO, 2008).

Trata-se de um metal importante na vida tanto animal como vegetal, essencial na composição de biomoléculas como a hemoglobina (pigmento do glóbulo vermelho), que é responsável pelo transporte de oxigênio dos pulmões para os tecidos em nosso organismo. A carência de ferro pode provocar anemia e seu excesso pode causar a fibrose generalizada dos órgãos internos (VAITSMAN *et al.*, 2001).

As composições do elemento ferro são achadas facilmente em meios aquáticos, onde dispõe de uma composição geoquímica mais complexa comparada a outros ambientes e definida fortemente pela facilidade de suas valências, mesmo em poucas quantidades. Os óxidos mais importantes do Ferro são: FeO, Fe₂O₃ e Fe₃O₄ sendo todos oxidados ou reduzidos com uma moderada facilidade nas outras formas (FRANCO *et al.*, 2010).

Embora o ferro seja um elemento benéfico para diversos organismos, se ingerido em grandes concentrações, podem acumular-se nos tecidos humano, causando distúrbios neurológicos, como Doença de Parkinson e Demência de Alzheimer (FERNANDEZ *et al.*, 2007). O ferro quando se acumula em órgãos também provoca doenças, por exemplo: no coração acarreta insuficiência cardíaca, no fígado provoca cirrose e tumores hepáticos e no pâncreas gera distúrbios hormonais causando diabetes *mellitus* (DEVLIN, 1998).

Outra consequência do excesso de ferro no organismo é a formação exagerada de radicais livres que atacam as moléculas celulares, desta maneira a quantidade de moléculas potencialmente cancerígenas aumentam (MAHAN, 2000). Como forma de prevenção, para que não tenha consequências com o armazenamento exagerado de ferro no corpo, aconselha-se o consumo máximo diário de 0.8 mg.kg⁻¹ de peso (WHO, 2006). Por conseguinte, se a fonte de ferro principal do indivíduo for a água, uma concentração de 2 mg.L⁻¹ não ofereceria riscos para a saúde se não exceder 10% do total diário. Entretanto, nesta concentração o sabor e o aspecto seriam afetados negativamente (MATOS, 2008).

A OMS (Organização Mundial da Saúde) não estabelece um valor específico para o ferro dissolvido em água, por não oferecer risco para a saúde. No entanto, considerando-se a obrigatoriedade de se fornecer a população um abastecimento de água dentro dos padrões de qualidades a Resolução do CONAMA Nº 357, de 17 de Março de 2005 e a Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde estabelecem o valor máximo permitido de ferro na água utilizada para consumo humano de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$, e que valores acima prejudicam a qualidade da água. Desta forma, em águas com excesso deste metal, faz-se necessário a aplicação de técnicas apropriadas nos sistemas de tratamento (BRASIL, 2011; CONAMA, 2005).

1.5 Excesso de ferro na água

O ferro é encontrado em todos os ambientes aquosos do planeta, todavia, quando está em quantidade superior a $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$, esse ambiente tem a cor e o sabor alterados e começa a exalar odor, diminuindo a aceitação da população (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1983). Quando acima deste valor supracitado as pessoas restringem o uso da água, por causar manchas em roupas e pisos, além de outros inconvenientes. Com isso, a população usa outros métodos não muito viáveis para abastecimento de água como, por exemplo, poços escavados baixos, onde os mesmos podem apresentar quantidades elevadas de nitrato (NO^-) e de amônio (NH^+), que são substâncias tóxicas, além de ocasionar uma má filtragem, devido à precipitação de Ferro nos poços, o que determina uma queda na eficiência do mesmo. Deve-se então disponibilizar uma água de qualidade tendo em seus componentes um baixo teor de ferro, assim aumentando a aceitação pela população em geral. (DRISCOLL, 1987).

O ferro gera compostos solúveis quando está no estado do íon ferroso (Fe^{+2}), sobretudo na forma de hidróxido ferroso ou hidróxido de ferro II, cuja fórmula é $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Em ambiente de oxidação, o Fe^{+2} dá origem ao íon férrico Fe^{+3} , originando-se o $\text{Fe}(\text{OH})_3$ que é insolúvel, causando a precipitação, manchando vigorosamente a água. Desta maneira, as águas de poços com altas concentrações de ferro, antes de entrarem no ambiente com o oxigênio, são incolores, mas ficam amareladas quando ocorre o contato com o ar, o que lhe atribui um aspecto desagradável. A precipitação do ferro contido nas águas é a principal causadora da perda de eficiência dos poços profundo, pois mancha roupas, louças e azulejos e ainda atribui gosto ruim a água (LIBÂNIO, 2010).

1.6 Remoção do excesso de ferro

Existem vários processos para a remoção do excesso de ferro na água, o procedimento mais utilizado para o tratamento da água, baseia-se na oxidação $\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Fe}^{+3}$, seguida da precipitação do Fe^{+3} . O método mais simples de oxidação é realizado por meio da aeração. Nesse procedimento são usados aeradores, os mais comuns são os de tabuleiro. Normalmente, a aeração não é suficiente para uma oxidação eficaz, precisando aplicar um oxidante químico forte, habitualmente um composto clorado, como o hipoclorito de sódio (PIVELI, 2012).

Diversos processos para remover o excesso de ferro da água são utilizados, incluindo a aeração acompanhada de filtração e a aeração combinada com solidificação, seguida de decantação e filtração. A seleção do procedimento dependerá da configuração de como as impurezas de ferro estão organizadas. Em relação às águas limpas como as subterrâneas que dispensam tratamento químico, onde na ausência de oxigênio contém bicarbonato ferroso dissolvido, o processo mais indicado é o primeiro (RICHTER & NETO, 1991).

A contaminação da água, especialmente por metais pesados, promove a necessidade do desenvolvimento de tecnologias para auxiliar no tratamento da água para o consumo humano, uma vez que estes metais apresentam resistência na sua remoção por métodos comuns, tal como a precipitação (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar as concentrações de ferro total encontrado nas águas para fins de consumo humano, no abastecimento público municipal do bairro Riacho Doce na cidade de Breves (Pará), confrontando os valores obtidos com os limites recomendados pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde e pela Resolução 357/2005 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente).

2.2 Objetivos específicos

- Estudar, analisar e comparar as concentrações de ferro total presente na água de abastecimento público em cada etapa do tratamento;
- Determinar os prováveis fatores que influenciam as concentrações de ferro presentes na água;
- Avaliar se a qualidade da água está de acordo com os padrões de qualidade recomendados pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde e pela Resolução 357/2005 do CONAMA para consumo humano;
- Verificar se ocorre alteração nas concentrações de ferro total nas águas subterrâneas para as diferentes estações do ano, levando em consideração o clima amazônico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Materiais

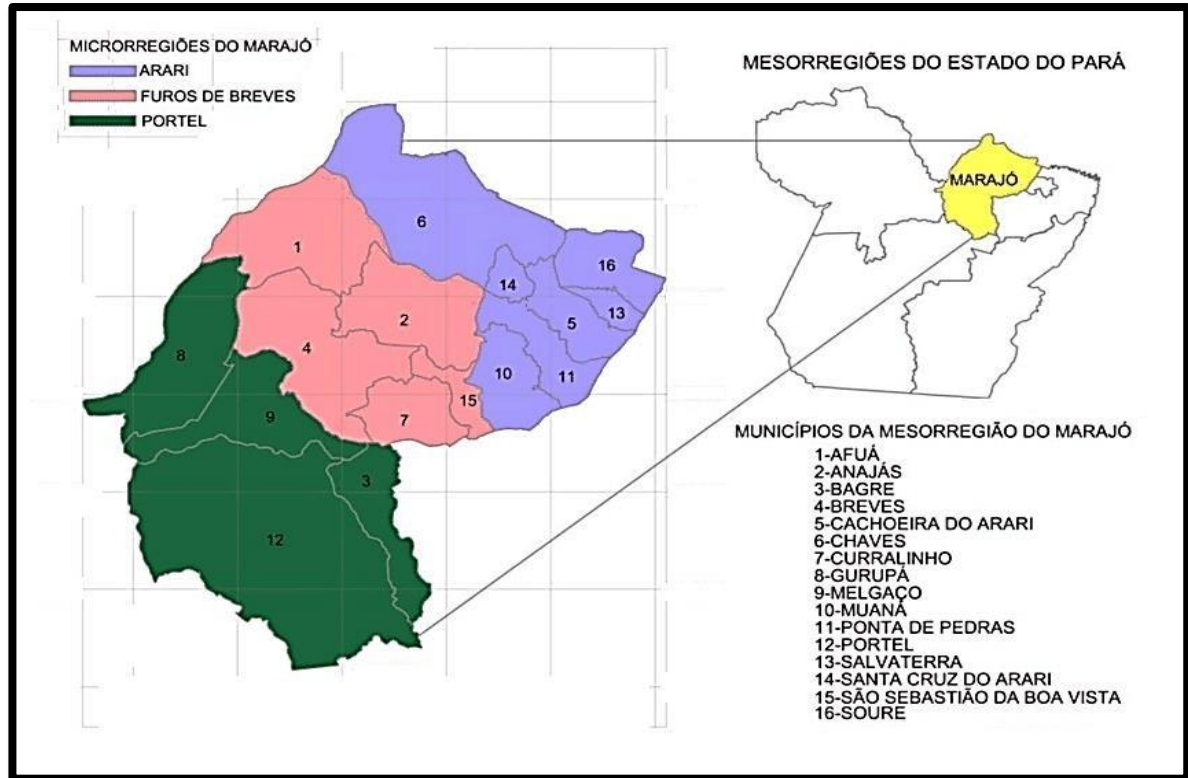
- Ácido nítrico (HNO₃ P.A) da Marca Vetec LTDA;
- Frascos de polietileno com capacidade para 30 mL;
- Garrafas de PET (água mineral) com capacidade para 330 mL;
- Termômetro digital com infravermelho da Marca Benetech, modelo GM320, com a faixa entre 50° C – 330° C;
- Luvas descartáveis da Marca Super Max, tamanho M e G;
- Fe(NO₃)₃, Sal de Nitrato de Ferro com pureza de 99,9% da Marca Vetec LTDA;
- Soluções Padrões de Ferro de 0,5-10 mg.L⁻¹;
- Equipamento de Absorção atômica com chama (Varian Fast Sequential 240 FS).

3.2 Métodos

3.2.1 Levantamento da área do estudo

O Município de Breves fica localizado na porção sudoeste da Ilha de Marajó, na Microrregião dos Furos de Breves, a uma distância de 221 km da capital do Estado, Belém, em linha reta. Limita-se ao Norte com os municípios de Afuá e Anajás; ao Sul, com os Municípios de Melgaço e Bagre; a Leste com Anajás, Currálinho e São Sebastião da Boa Vista; e a Oeste com os municípios de Melgaço e Gurupá.

Figura 1: Microrregiões do Marajó.



Fonte: Crispim *et al.* (2016).

No censo demográfico de 2010, o município continha uma população de 92.860 habitantes, mas os últimos levantamentos estimaram que no ano de 2018 o número aumentou para 101.891 pessoas. Breves caracteriza-se por ser o município mais populoso da Mesorregião do Marajó, representando 19,07% de toda a população Mesorregional. Os dados populacionais e demográficos da Microrregião dos Furos de Breves podem ser observados na tabela 3.

Tabela 3 - População da microrregião dos Furos de Breves.

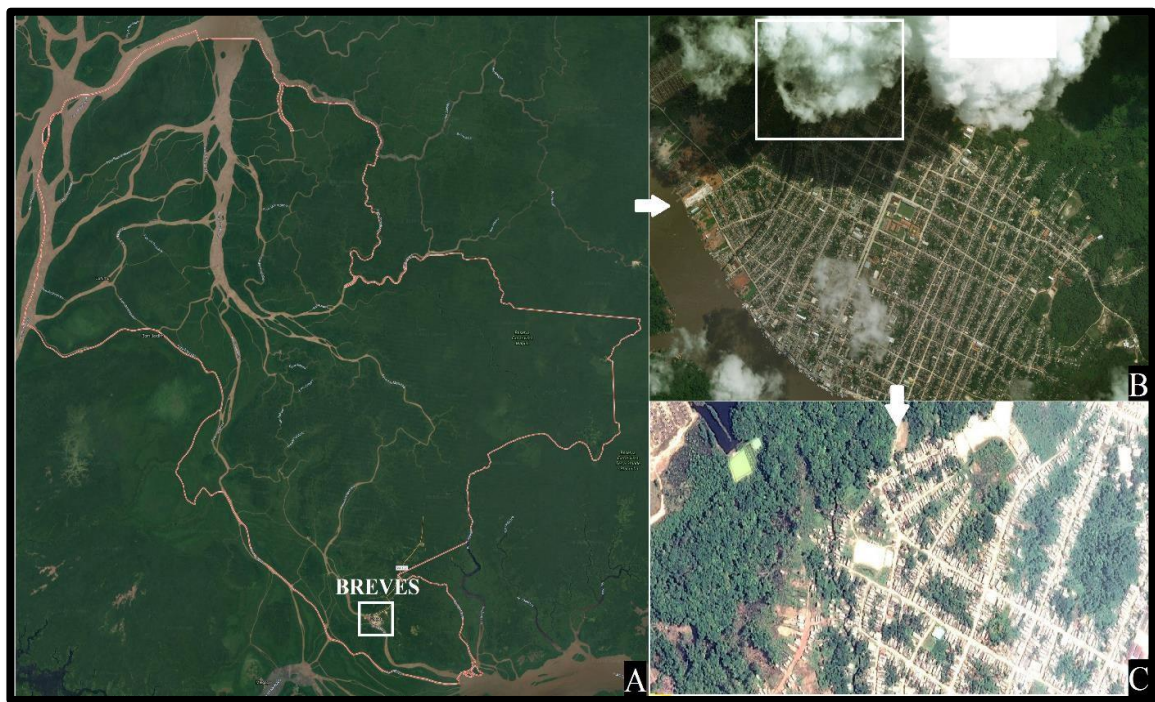
Furos de Breves	Censo 2010	Estimativa 2018
Afuá	35.042	38.863
Anajás	24.759	28.859
Breves	92.860	101.891
Curralinho	28.549	33.893
São Sebastião da Boa Vista	22.904	26.301
Total	204.114	229.807

Fonte: IBGE (2018).

O percentual de urbanização da população de Breves no Censo de 2000 aponta um equilíbrio do número de pessoas na área urbana (46.560 pessoas) e rural (46.300 pessoas), ou seja, uma taxa de urbanização de 50,14% (ATLAS, 2010). Com as particularidades da Microrregião dos Furos de Breves, este dado estatístico torna-se relevante, pois a área rural é, em sua maioria, povoada por ribeirinhos; as embarcações são os meios de transporte utilizados e as residências ficam distantes umas das outras; na maioria das localidades os serviços de saneamento básico, energia elétrica e saúde são deficitários, e a única fonte de água é o próprio rio.

Na figura a seguir, pode-se observar o território do município de Breves a partir da Divisão Territorial que ocorreu em 1º de julho de 1960.

Figura 2 - A: Território do Município de Breves; B: Destaque da cidade de Breves as margens do Rio Parauaú; C: Bairro Riacho Doce (local das coletas).



Fonte: Google Maps (2019).

3.2.2 Definição dos pontos de amostragem

Para coleta das amostras foram definidos, inicialmente, seis pontos, sendo quatro situados dentro da Estação de abastecimento do Município de Breves (PA) e os dois restantes

no plano consumidor. Estes pontos foram escolhidos conforme a trajetória da água e suas possíveis mudanças de qualidade. Os pontos são:

1. Poço (primeira saída de água, após passar pelo aerador de cascata);
2. Filtro;
3. Cisterna (quando a água estava em repouso);
4. Caixa da Estação (primeira saída);
5. Consumidor 1a (próximo da Estação);
6. Consumidor 1b (após tratamento químico, para uso comercial).

Após a quinta coleta houve a necessidade de substituir o ponto 6 (seis), onde a água recebia um tratamento com sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) realizado pelo próprio consumidor para uso comercial, inicialmente porque os resultados não estavam apresentando alterações além do que já era previsto quando o tratamento químico é eficaz estando com valores abaixo da leitura do equipamento, não havendo relevância nos resultados para pesquisa. Por existir uma obrigatoriedade de comparar a concentração de ferro em relação a distância da tubulação percorrida pela água foi acrescentado um novo ponto, nomeado consumidor 2 (distante da Estação), ofereceria a oportunidade de analisar os resultados obtidos em relação ao consumidor 1 (próximo da Estação), verificando possíveis fatores que possam estar contribuindo para o excesso de ferro.

Desta forma, o consumidor 1b foi substituído por um consumidor 2 residente nas extremidades do bairro, nos últimos pontos de fornecimento de água.

6. Consumidor 2 (distante da Estação).

3.2.3 Caracterização dos pontos de coleta da Estação

Esta Estação de Tratamento de Água (ETA) dispõe de apenas um poço tubular com 175m de profundidade revestido por um anel protetor que vai da superfície até a bomba de água que fica a 85m no subsolo. A tubulação é de ferro, por ser mais resistente dificultando rachaduras e rompimentos, além de ser revestida internamente por uma camada de concreto para isolar a água do contato com o ferro do tubo como pode ser observado na figura 3C. Apenas a tubulação interna do poço é de ferro, as demais tanto da estação como as rede de tubulação que leva água para os moradores são de PVC (policloreto de vinila).

Após a saída do poço a água cai diretamente no aerador de tipo tabuleiro, por ser a primeira saída de água disponível as coletas das amostras de ferro para o ponto 1 ocorreram neste local, antes de caírem no aerador.

Figura 3 - A: Poço; B: Interior do anel do poço; C: Tubulação.



Fonte: Autores (2018).

Os aeradores são utilizados para oxigenar a água, desta forma ocorre a remoção de compostos voláteis e oxidantes, além de gases indesejados. Aeradores do tipo tabuleiro para ter eficiência são constituídos por um conjunto de, no mínimo, quatro bandejas perfuradas sobrepostas, admitindo no máximo 100 m³ de água por metro quadrado de área em projeção horizontal/dia, desta forma são os mais recomendados para ETA's por facilitarem a oxidação de compostos ferrosos ($\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Fe}^{+3}$) levando a precipitação do Fe^{+3} por insolubilidade (NBR 12.216, 1992).

A primeira bandeja a entrar em contato com a água é utilizada para distribuir a água de maneira uniforme, por meio de perfurações no decorrer de sua superfície. As demais bandejas contêm treliças, onde é organizada uma camada de material granular, de preferência, coque de ½” a 6” (polegadas). Essa camada acelera as reações de oxidação proporcionando uma superfície de contato maior (LIMA, 2006).

Figura 4 - Aerador tipo tabuleiro.



Fonte: Autores (2018).

Com a chegada da água no aerador tipo tabuleiro deveria ocorrer a oxigenação. Entretanto, no caso da estação em questão existe apenas uma única plataforma de bandejas perfuradas, como pode ser observada na figura 4, servindo apenas para distribuição de maneira uniforme da água, o que gera pouca eficiência dessa estrutura.

Após esse processo a água cai diretamente no funil de concreto logo a baixo da plataforma do aerador, descendo pela encanação e entrando na estrutura do filtro por baixo (submergindo).

Para um filtro funcionar de maneira adequada em uma ETA é necessário que ele tenha um revestimento interno, onde a água ao submergir passa pelo material filtrante, este revestimento depende do tamanho das partículas a serem retiradas. Por exemplo, na COSANPA (Breves) utiliza-se areia, que filtra partículas de 5 a 25 micra (μ). No entanto, na

ETA onde foram realizadas as coletas não existe nenhum revestimento interno a não ser os sedimentos deixados pela própria água.

Outro detalhe importante pode ser observado na figura 5C, onde os funcionários improvisaram uma abertura para passagem da água, impossibilitando a passagem pela primeira calha, estabelecendo um “atalho” indevido por não haver justificativas para a abertura do mesmo, além de deixando o filtro ainda menos funcional para os procedimentos de purificação da água.

Figura 5 - **A:** Aerador e filtro (setas mostrando a trajetória da água); **B:** Sedimento da parede do filtro; **C:** Compartimento 1 (círculo mostrando “atalho”) e 2 do filtro; **D:** Compartimento 2 do filtro.



Fonte: Autores (2018).

Desta forma podemos presumir que não acontece nenhum tipo de filtração e a água que vem do poço passa direto para a cisterna sem nenhum tipo eficaz de remoção de contaminantes. Deixando apenas os sedimentos maiores que vem na água depositados nas paredes e solo do filtro, formando uma camada espessa de sedimentos misturados com lodo.

As coletas de água neste local foram realizadas no tubo de saída do filtro para a cisterna, podendo ser melhor observado na figura 6C.

A estação contém duas cisternas, a maior com capacidade para 100 mil litros e a menor com 40 mil litros ligadas por um tubo interior a baixo da linha do solo. Nesta etapa também não acontece nenhum tipo de tratamento, apenas o repouso da água gerando uma leve sedimentação. A cisterna maior (figura 6A) permanece fechada durante todo o processo de funcionamento, tendo sua carga total sendo preenchida pelo tubo subterrâneo.

Figura 6 - **A**: Cisterna; **B**: Interior da cisterna abastecida; **C**: Encanamento vindo do filtro para abastecimento da cisterna.



Fonte: Autores (2018).

As coletas foram realizadas na cisterna de maior capacidade quando a água se encontrava em repouso, a qual era aberta apenas para a captura das amostras, logo após atingir esse estado acontecia o bombeamento para o reservatório da estação, o encanamento que liga a cisterna e a bomba d'água suga apenas a parte sobrenadante deixando o corpo de fundo assentado na parte interna, entretanto não ocorre a limpeza desse material sedimentado com frequência, sendo deixado depositado no interior da cisterna durante meses.

O reservatório da estação comporta 100 mil litros de água, está localizado a 15m da superfície e não há bombeamento da caixa para os consumidores, apenas a pressão da queda livre. As coletas foram realizadas na primeira válvula de saída de dentro da ETA. Essa estrutura também não recebe nenhum tipo de limpeza semanal ou mensal para a desinfecção do seu meio interno deixando o ambiente favorável para proliferação de agentes patogênicos que venham a se abrigar no seu interior.

Figura 7 - **A**: Reservatório de água; **B**: Bombas para impulsão da água para o reservatório; **C**: Válvula de saída de água para o consumidor.



Fonte: Autores (2018).

A válvula de saída (figura 7C) é aberta duas vezes por dia, no período da manhã o abastecimento é feito das 6 até as 11 horas, ocorrendo a escoamento total do reservatório e no período da tarde das 16 até as 19 horas por ser o horário de finalização do expediente dos funcionários. O encanamento de saída desse reservatório se localiza diretamente na parte inferior, drenando todo sedimento formado dentro da caixa diretamente para os moradores.

3.2.4 Procedimento de coleta e preservação das amostras

As amostras de água foram coletadas em cada ponto em garrafas PET de 330 mL, previamente lavadas com água destilada. Todas as amostras tiveram suas temperaturas medidas por um termômetro digital com infravermelho. Em seguida, receberam um acréscimo de 10 gotas de HNO₃ P.A, afim de acidificá-las até o pH 2, isto é, para manter a conservação das amostras e não haver a precipitação do ferro na forma de hidróxidos. Dessa forma, as amostras foram identificadas e acondicionadas num freezer para serem levadas ao Laboratório Núcleo de Águas (LANAGUA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), para realização das análises de Ferro total nas amostras, utilizando um Equipamento de Absorção Atômica com Chama (Ar-acetileno).

3.2.5 Análise de ferro

Os metais pesados podem ser quantificados em água através de espectrofotometria de absorção atômica. A escolha do método a ser usado depende do grau de precisão necessário, do número de amostras a serem processadas e, obviamente, da disponibilidade dos recursos materiais e humanos.

A determinação de ferro em água pelo método de absorção atômica por chama quando a amostra detém muita matéria orgânica precisa de pré-tratamento para a remoção dessa matéria. Para esse processo são empregadas misturas de ácidos, como nítrico e sulfúrico, nítrico e clorídrico ou nítrico e perclórico.

A absorção atômica é uma técnica altamente versátil para a determinação química de diversos elementos metálicos e alguns não metálicos. Para a determinação direta da concentração de um elemento por absorção atômica, devem ser considerados quatro componentes fundamentais do equipamento:

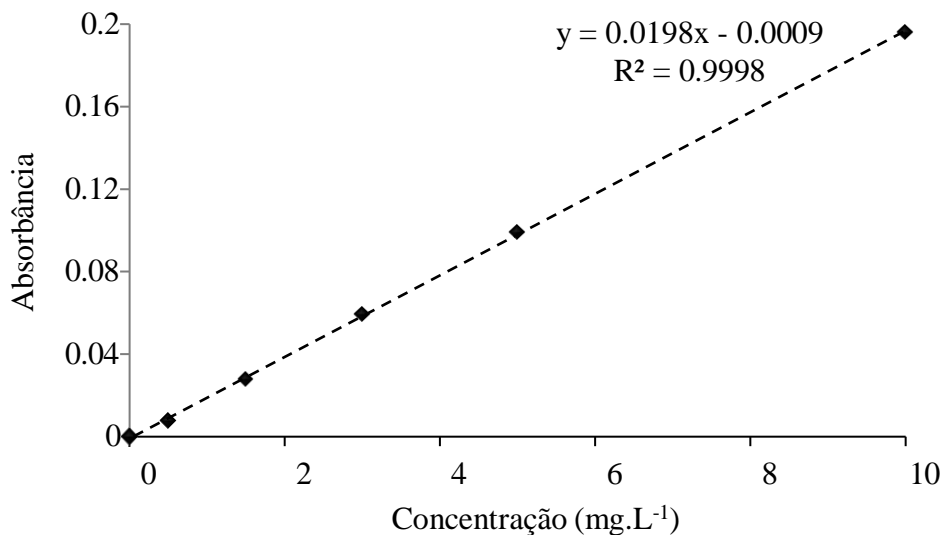
- Fonte luminosa de linhas definidas e intensas, que emita radiação ressonante, característica do elemento a ser determinado;
- Sistema atomizador, para atomizar a amostra na chama;
- Monocromador, que isole a linha de ressonância de outras linhas que emita a fonte;
- Sistema detector, que converta a radiação luminosa em corrente elétrica que, uma vez convenientemente amplificada, possa ser lida no instrumento indicador.

A função do atomizador é converter a amostra em vapor atômico. Geralmente uma chama aquece e excita os átomos para a absorção. O atomizador e a chama são posicionados entre a fonte luminosa e o monocromador. O vapor atômico absorve parte da radiação ressonante emitida pela fonte, geralmente uma lâmpada de cátodo oco, cuja absorção da intensidade de radiação pela amostra é proporcional à concentração do analito, isto é, de acordo com a lei de Beer – Lambert.

3.2.6 Curva de calibração

A curva de calibração do ferro foi preparada com as seguintes concentrações padrões: 0,5 mg.L⁻¹, 1,5 mg.L⁻¹, 3 mg.L⁻¹, 5 mg.L⁻¹ e 10 mg.L⁻¹, as quais foram preparadas a partir da solução estoque de 1000 mg.L⁻¹ de ferro em meio de ácido nítrico (HNO₃). Depois, para cada concentração padrão foi realizada a leitura da medida de absorbância no equipamento Espectrofotômetro de absorção atômica com chama FAST SEQUENTIAL 240 FS, disponível no LANAGUA da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici.

Figura 8 - Curva de calibração da análise de ferro.



Fonte: Autores (2018).

O coeficiente de regressão linear R^2 mostra que o gráfico apresenta um comportamento linear, com os pontos próximos da reta. Quanto mais próximo de 1 estiver R^2 significa que a lei de Lambert-Beer está sendo obedecida para as soluções diluídas.

3.2.7 Parâmetros instrumentais da análise

Para determinação de ferro total em amostras de água de abastecimento público, foi descrito os parâmetros instrumentais da técnica de absorção atômica com chama na tabela 4. Ao mesmo tempo, pode ser observado que a curva de calibração (figura 8) para o analito (Fe) apresenta um bom coeficiente de correlação linear, o valor do R^2 foi de 0,9998, cuja equação da reta ($Y = 0,0198x - 0,0009$).

Tabela 4 - Parâmetros instrumentais da absorção atômica com chama.

Analito	Fe
Faixa de linearidade (mg.L ⁻¹)	0,5 - 3,0
λ_{onda} (nm)	248,3
Intensidade (mA)	5
Largura da fenda (nm)	0,2
Altura do queimador (cm)	13,5
Tipo de chama (Ar/Acetileno, L.min ⁻¹)	13,5/2
Valor de R^2 da curva de calibração	0,999
Limite de detecção (mg.L ⁻¹)	0,01
Limite de quantificação (mg.L ⁻¹)	0,005

Fonte: Autores (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas 14 coletas em períodos climáticos diferentes, englobando os três últimos meses do período de chuva (7 coletas) e as demais na estação seca (7 coletas), considerando que a temporada de chuvas com alta densidade pluviométrica na região Amazônica é compreendida entre os meses de Novembro e Março e o período de seca entre os meses de Maio e Setembro, entretanto, nessa estação ainda ocorre chuvas, mas em menor volume. Os meses de Abril e Outubro compreendidos entre as estações são meses de transição entre um período e outro (FISCH *et al.*, 1998)

Tabela 5 - Datas das coletas realizadas.

Coleta	Data	Nº de amostras
1	25/01/2018	5
2	01/02/2018	5
3	08/02/2018	5
4	15/02/2018	5
5	22/02/2018	6
6	01/03/2018	6
7	08/03/2018	6
8	21/06/2018	6
9	28/06/2018	6
10	12/07/2018	6
11	26/07/2018	6
12	23/08/2018	6
13	30/08/2018	6
14	20/09/2018	6

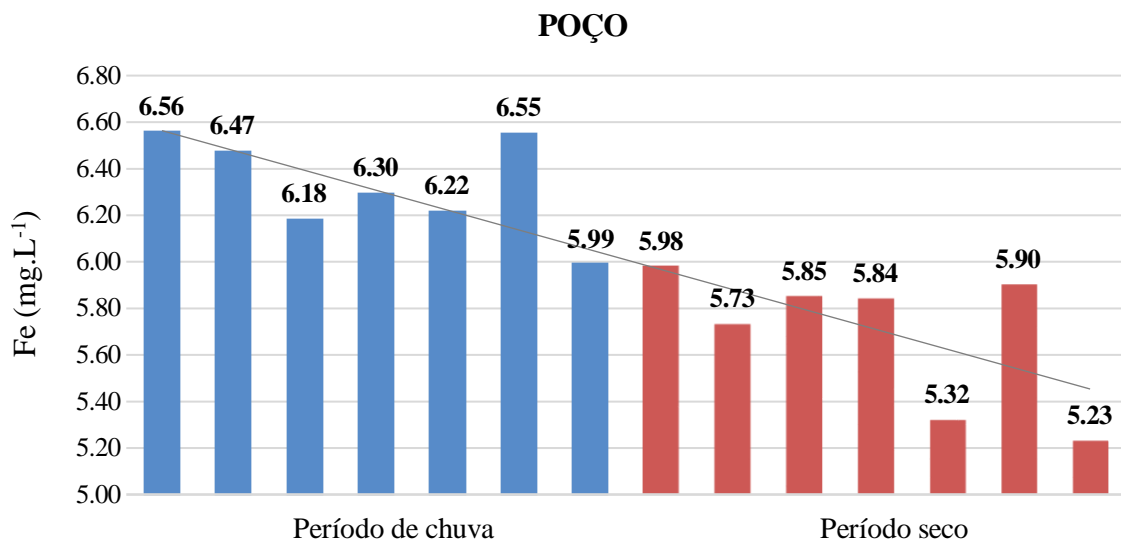
Fonte: Autores (2018)

4.1 Resultados individuais

4.1.1 Ponto 1

A análise de monitoramento da concentração de ferro para os locais de coleta selecionados, são discutidos a seguir. O local inicial foi o poço de captação de água, neste os valores encontrados estão descritos no gráfico ilustrado na figura 9.

Figura 9 - Concentração de ferro total das amostras coletadas no poço de captação.



Fonte: Autores (2019).

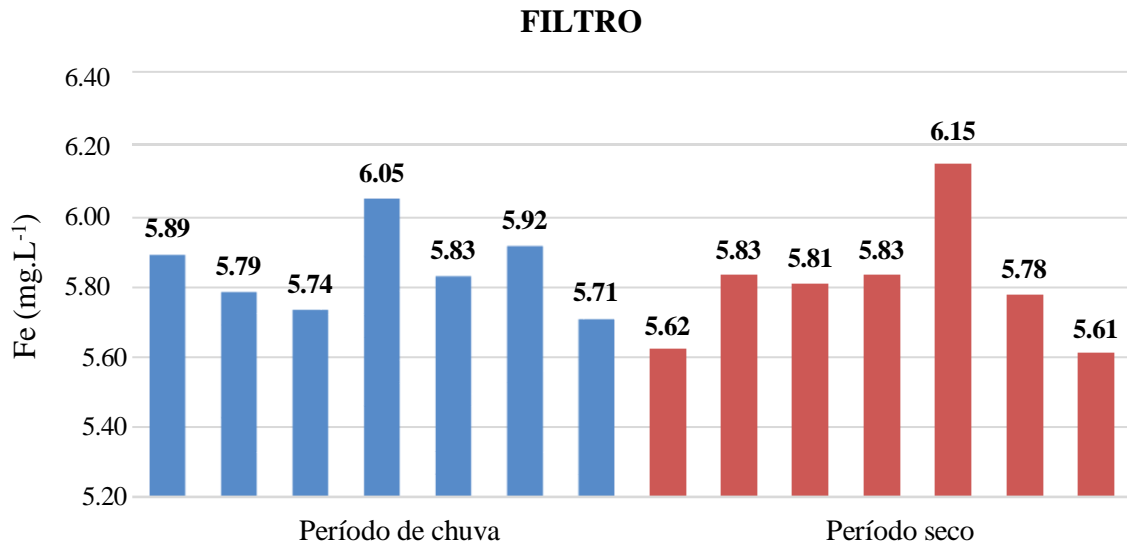
Pode-se observar que o maior teor de ferro total encontrado foi na 1ª coleta, realizada no dia 25 de janeiro de 2018 (tabela 5), referente a estação com maior intensidade de chuva. Enquanto a menor concentração de ferro total foi encontrada na 14ª coleta, alusivo ao período com menor índice pluviométrico.

É importante notar a linha de tendência mostrando uma concentração menor de ferro a medida que avança para o período com menos chuva, levando em consideração que o ponto 1 é o único ao qual as características da água estão diretamente ligadas ao ambiente natural, sofrendo mudanças de acordo com a estação, o qual pode ser o motivo do declínio. Esse fenômeno pode ser explicado pela lixiviação, processo comum em climas tropicais, que acontece quando a camada superficial do solo é lavada devido a chuvas intensas, levando ao escoamento das águas superficiais carregadas de dejetos para os lençóis freáticos (RIBEIRO, 2017).

4.1.2 Ponto 2

O segundo ponto de coleta foi o filtro, local onde deveria acontecer a primeira etapa do tratamento da água, os resultados obtidos estão descritos na figura 10.

Figura 10 - Concentração de ferro total das amostras coletadas no filtro.



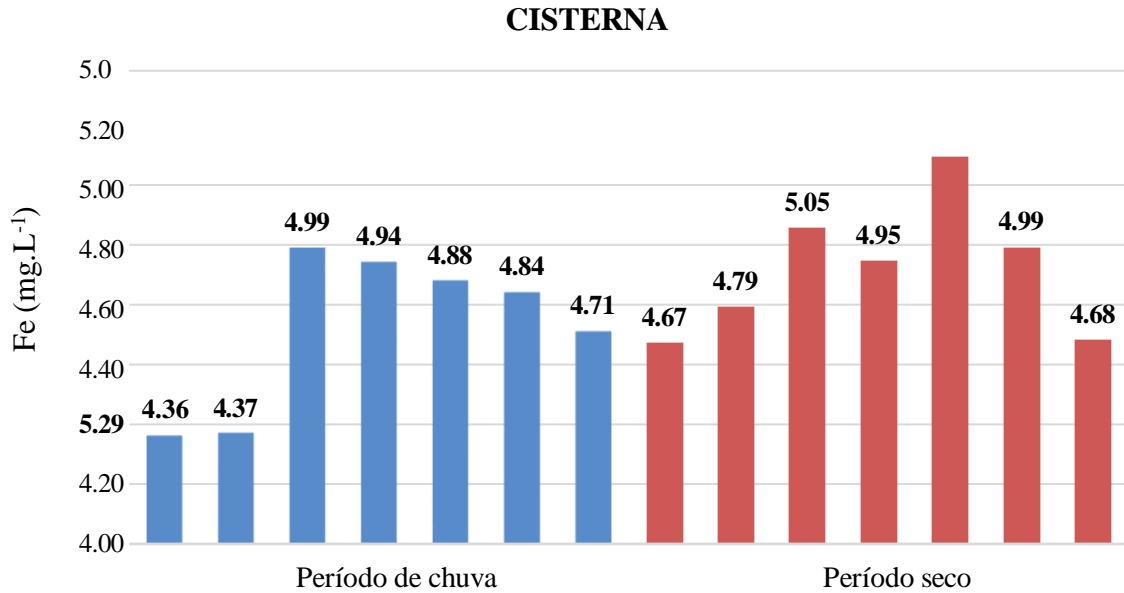
Fonte: Autores (2019).

Observando os dados da figura 10 referente ao filtro, nota-se que a maior (coleta 12 - 6.15 mg.L⁻¹) e menor (coleta 14 - 5.61 mg.L⁻¹) concentração de ferro total encontrado foi no período com menor intensidade de chuva. Em relação a 12^a coleta realizada no dia 23 de agosto de 2018 (tabela 5), onde aconteceu o maior pico de ferro encontrado no filtro, comparando com o ponto anterior referente a mesma coleta, teve um aumento de 0,83 mg.L⁻¹ de ferro, ou seja, no local que deveria promover a filtração de elementos, se tivesse o revestimento interno para seu desempenho adequado, terminou por acrescentar, provavelmente pela falta de manutenção na estrutura, que acumula sedimentos nas paredes até o seu limite, onde se rompem e misturam-se a água.

4.1.3 Ponto 3

O terceiro ponto de coleta foi a cisterna, onde ocorreria a segunda e última etapa da retirada de resíduos sólidos da água.

Figura 11 - Concentração de ferro total das amostras coletadas na cisterna.



Fonte: Autores (2019).

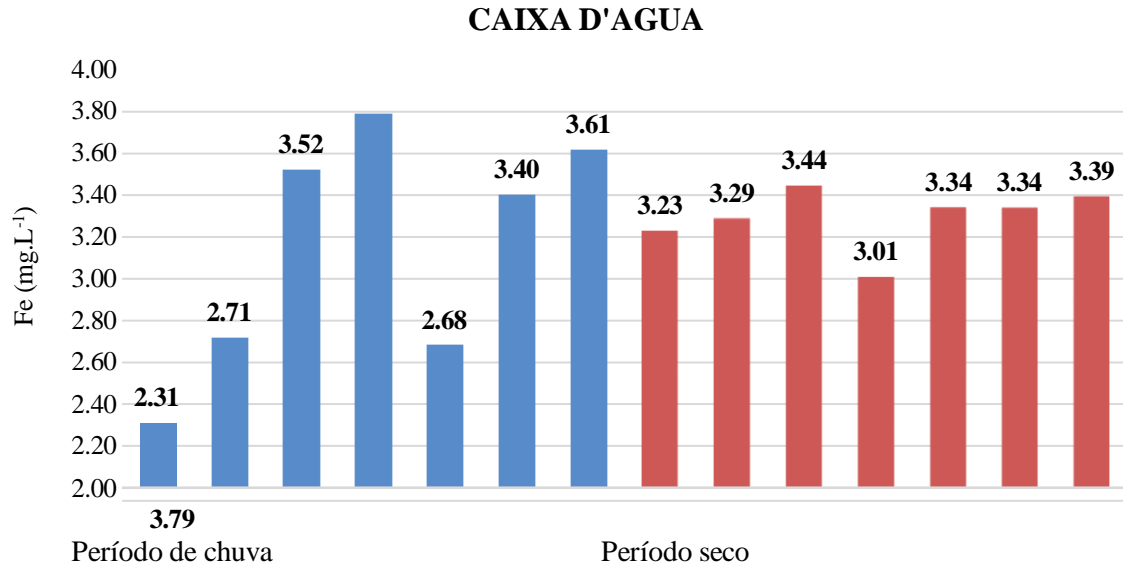
Com base nos resultados das análises realizadas na água da cisterna, conforme ilustrado no gráfico apresentado na figura 11, pode-se observar que a menor concentração de ferro total encontrada foi na 1ª coleta realizada no dia 25 de janeiro de 2018 (tabela 5) referente ao período chuvoso, ocasionando uma queda significativa, mas não eficiente em relação aos pontos anteriores e o maior teor de ferro encontrado foi na 12ª coleta, realizada no segundo período do ano, sendo consequência ainda do pico do ponto anterior de mesma data.

Na cisterna deveria acontecer o tratamento da água com produtos químicos, como não existe este tratamento os resultados não estão significativos ocasionando em uma água de baixa qualidade e com altos teores de ferro.

4.1.4 Ponto 4

O quarto ponto de coleta é o reservatório, último ponto de coleta de dentro da ETA. Local onde teve os menores índices de concentração de ferro total levando em consideração a média entre os pontos.

Figura 12 - Concentração de ferro total das amostras coletadas no reservatório de água da estação de abastecimento.



Fonte: Autores (2019).

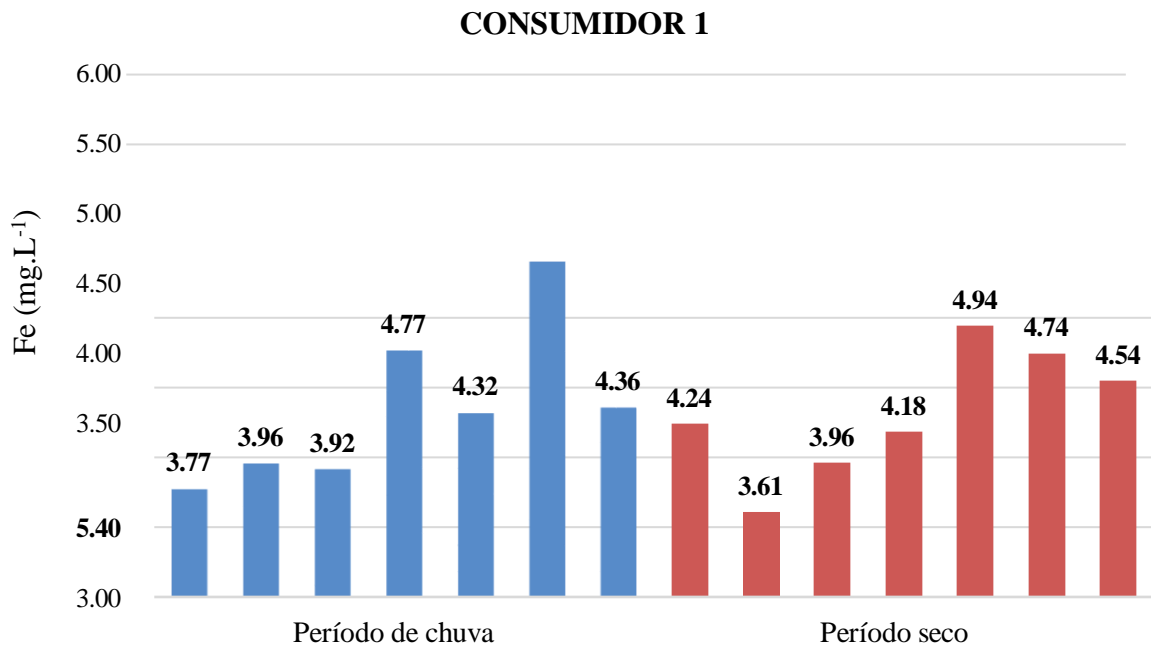
No reservatório de água como pode ser observado na figura 12 foi encontrado o menor teor de ferro entre todas as coletas, localizada na 1ª coleta do período com maior índice pluviométrico, neste mesmo período encontra-se também a de maior concentração do ponto referente a 4ª coleta realizada no dia 15 de fevereiro de 2018.

Os menores níveis de ferro total para este ponto se devem, provavelmente, pela sucção de apenas a parte sobrenadante da água da cisterna, deixando a maior parte do ferro sedimentado no corpo de fundo do ponto anterior, diminuindo desta forma os teores de ferro total.

4.1.5 Ponto 5

Com base nos dados referentes a figura 13 pode se notar um aumento em média de 36% na concentração de ferro do consumidor 1 em relação ao ponto anterior (caixa) em todas as coletas, este aumento pode estar relacionada, provavelmente, pela drenagem do corpo de fundo resultante da sedimentação que ainda ocorre na caixa d'água pelas horas que a água permanecem em repouso no reservatório juntamente com a condição precária da rede de encanamento.

Figura 13 - Concentração de ferro total das amostras coletadas na residência do consumidor 1 (próximo da estação).

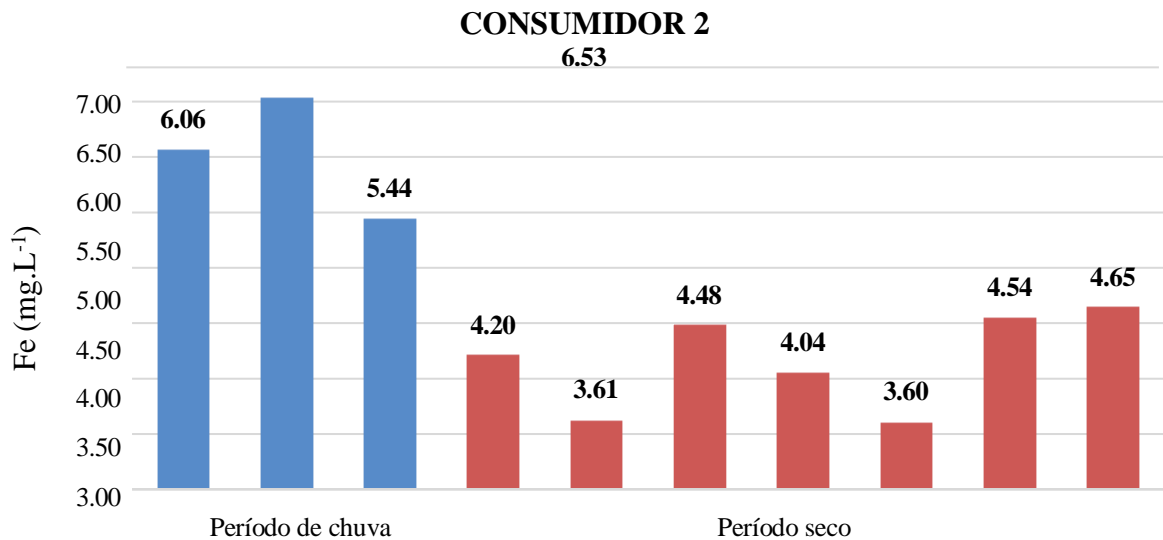


Fonte: Autores (2019).

4.1.6 Ponto 6

Como o consumidor 2 foi o último ponto estabelecido ocorreram menos amostras em relação aos pontos anteriores, entretanto seus resultados foram relevantes para a investigação.

Figura 14 - Concentração de ferro total das amostras coletadas na residência do consumidor 2 (distante da estação).



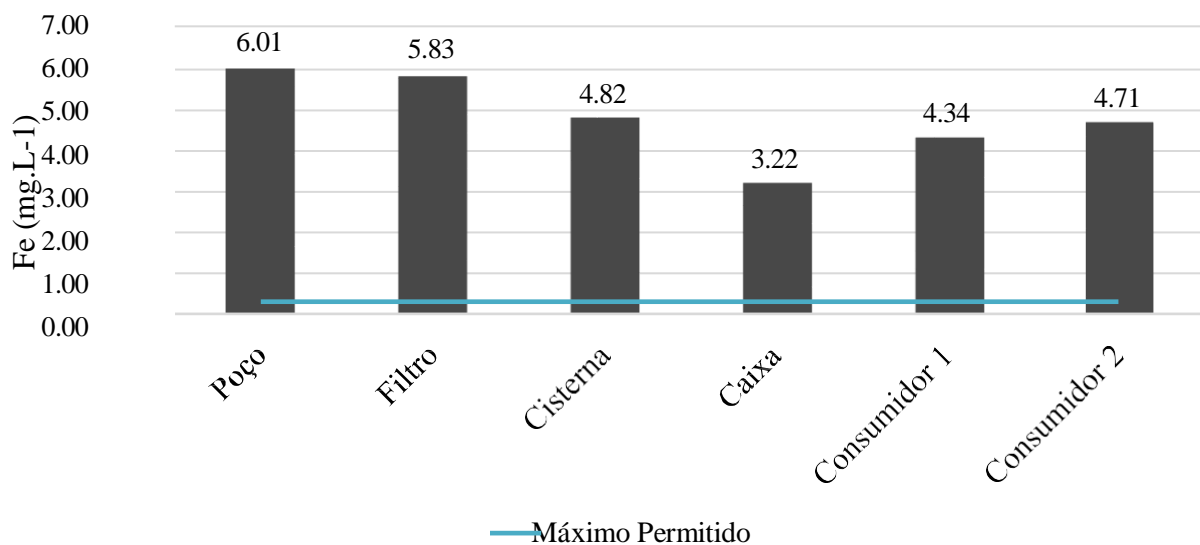
Fonte: Autores (2019).

Com base nos dados da figura 14, no consumidor 2 que se encontra na extremidade da rede de distribuição ocorre um aumento em relação ao resultado médio do consumidor 1, gerado provavelmente pelos mesmos problemas encontrados no ponto anterior. Entretanto o aumento ocorre pela distância a mais que a água percorre para chegar ao ponto 6, levando em consideração a precariedade da rede hidráulica, quanto maior for a distância maior é a quantidade de fissuras nos canos, conseqüentemente maior a concentração de sólidos totais dissolvidos incluindo o ferro.

4.2 Média dos resultados obtidos

Todas as amostras estão fora do valor médio permitido pelo Ministério da Saúde, algumas estão mais de 20 vezes acima do valor.

Figura 15 - Resultados médios obtidos de concentração de ferro total nas amostras de águas



Fonte: Autores (2019).

A partir do gráfico ilustrado na figura 15, pode-se observar os resultados médios para as 14 coletas analisadas, referentes ao poço, filtro, cisterna, caixa e consumidor 1, e para as 10 coletas analisadas referente ao consumidor 2. Percebe-se que há um decaimento na concentração de Ferro encontrada na água, que passa do poço para o filtro, possivelmente associado ao aerador de tabuleiro juntamente com o próprio filtro, apesar de que segundo a NBR 12.216/1992, como mencionado anteriormente, para que haja melhor oxigenação da

água, conseqüentemente aumentando a porcentagem da retirada do $[\text{Fe}^{+3}]$ através da precipitação, o aerador deve ter no mínimo 4 plataformas sobrepostas. Entretanto, o aerador em questão contém apenas uma única plataforma, o que resultou em uma pequena taxa de precipitação no interior do filtro, podendo ser observada pelos sedimentos na figura 5B.

Também ocorre uma diminuição na concentração de Ferro total quando passa do filtro para a Cisterna, observa-se um decaimento de 10,4%, atribuído provavelmente ao tempo em a água fica em repouso, facilitando a “precipitação” ou corpo de fundo de material sólido “ferrugem”.

Ainda com base na análise do gráfico, observa-se que há um aumento na concentração de Ferro encontrado na água coletada no consumidor 01 e 02, respectivamente. O aumento observado na concentração pode estar relacionado ao sistema de transmissão de água (tubulação), que segundo os próprios funcionários da ETA é composta de tubos de PVC, estando em péssimo estado de conservação contendo várias fissuras, facilitando a entrada de material contaminante entre os períodos de abastecimento, quando a pressão interna no cano diminui devido a interrupção do fornecimento, levando a um aumento na concentração do ferro a medida que a água percorre as tubulações, conseqüentemente o consumidor 2, por esta em uma distância maior, é mais prejudicado.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para todos os pontos de coletas mostraram que a concentração de ferro total está acima do máximo permitido pela legislação vigente, que é igual a $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$, tornando a água imprópria tanto para o consumo como para o uso doméstico pelas altas concentrações encontradas. Esses resultados estão associados, provavelmente, a um deficitário procedimento de tratamento de água, devido a utilização de maneira errada das estruturas presentes e a falta de infraestrutura adequada, assim como equipamentos e reagentes para auxiliar no processo de purificação da água e trabalhadores capacitados, uma vez que, os funcionários não dispõem de nenhuma qualificação específica para atuar nos processos de tratamento da água.

Para além disso, a falta de recurso impede os trabalhadores de efetuarem qualquer tipo de técnica mais elaborada para o tratamento da água para o consumo, pois não ocorre nenhum tipo de arrecadação dos consumidores para a manutenção e melhoramento das estruturas internas da estação, sendo a distribuição de água realizada de forma gratuita, mas de péssima qualidade.

Uma possível resolução ou mitigação do problema de água, seria se os beneficiários do sistema de distribuição contribuíssem com uma pequena quantia, não obrigatória, em dinheiro por mês para cada residência, pois como a com boa administração desses recursos poderia ocorrer a compra de produtos e melhorias nas estruturas, deixando o processo funcional e elevando a qualidade da água que chega no consumidor. Para isso necessitaria do apoio dos moradores locais, por meio de uma reunião, onde verificaria se os mesmos estariam de acordo com a proposta, deixando para o poder público municipal apenas as despesas com os funcionários e eventuais reformas de proporções maiores, entretanto esta proposta ainda necessita de mais estudos e orçamento equivalente.

REFERÊNCIAS

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

ATLAS DO BRASIL. Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil. 2010. Disponível em: < http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/breves_pa>. Acesso em: 12 mar. 2019.

BRASIL. Ministério da saúde. **Portaria nº 2.914/2011**. Controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2011.

BUNCE, N. **Introduction to Environmental Chemistry**. Winnipeg: Wuerz Publishing Ltd. 1993.

CIMINELLI, V.S.T.; BARBOSA, F.A.R.; TUNDISI, J.G.; DUARTE, H.A. Recursos Minerais, Água e Biodiversidade. **Química Nova na Escola** (Impresso), v. 8, p. 39-45, 2014.

CONAMA. Resolução 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 da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005: 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2018.

COSTA, R. H. P. G. Consumo de água. In: TELLES, D. A.; COSTA, R. H. P. G. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Edgar Blucher, 2007. cap. 2.

CRISPIM, D. L.; RODRIGUES R. S. S.; VIEIRA A. S. A.; SILVEIRA R. N. P. O. & FERNANDES L. L. Espacialização da cobertura do serviço de saneamento básico e do índice de desenvolvimento humano dos municípios do Marajó, Pará. **Revista Verde de Agronomia e Desenvolvimento Sustentável**. 11: 112-122. 2016.

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. Ediciones Omega (I e II). Barcelona: 2359. 1983.

DEVLIN T. M. **Manual de Bioquímica com correlações clínicas**. São Paulo. Ed. Edgard Blücher, 1998.

DRISCOLL, G. **Groundwater and Wells**. 2. St. Paul: Johnson Division: 1089. 1987.

FALKENMARK, M. Marco-scale water supply demand comparison on the global scene. **Stockholm: International Water Institute**: 15-40. 1986.

FERNANDES, A. L. T; NOGUEIRA, M. A. de S. & RABELO, P. V. Escassez e qualidade da água no século 21. Efeito das mudanças climáticas na agricultura. Belo Horizonte: **Informe Agropecuário**, 2: 86-101. 2008.

FERNANDEZ, L. L.; FORNARI, L. H. T.; BARBOSA, M. V. & SCHRODER, N. Ferro e neurodegeneração. Porto Alegre: **Scientia Medica**. 17: 218-224. 2007. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/scientiamedica/article/viewFile/2112/2632>>. Acesso em: 19 dez. 2018.

FISCH, G.; MARENGO, J. A. & C. A. NOBRE. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazonica**, 28(2): 101-126. 1998.

FRANCO, R. A. M. **Qualidade da água para irrigação na microbacia do Córrego do Coqueiro no noroeste paulista**. Orientador: Fernando Braz Tangerino Hernandez. 2008 103 p. Dissertação de Mestrado (Agronomia). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia: Ilha Solteira. 2008.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; BARBOZA, G. C.; VANZELA, L. S. Diagnóstico da concentração de ferro nas águas superficiais e seus impactos para a irrigação localizada na região noroeste paulista. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 20., 2010, Uberaba, MG. **Anais [...]**, Uberaba, 2010.

GHASSEMI, J. N.; GHASSEMI, F.; NIX, H. & JAKEMAN, A. J. Salinisation of land and water resources: **human causes, extent, management and case studies**. Wallingford: CABI. 1995.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/Breves+PA>>. Acesso em: 12 mar. 2019.

GRASSI, M. T. Águas no planeta Terra. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**. Edição especial – Maio: 31-40. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/breves.html>. Acesso em: 12 mar. 2019.

LEMONS, J. C.; FLAUZINO, F. S.; SILVA, J. B.; FERRETE, J. A. & REZENDE, K. Qualidade da água utilizada pelos moradores do assentamento de reforma agrária Bom Jardim, no município de Araguari - Minas Gerais, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26, 2011. **Anais [...]** Porto Alegre, 2011.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento da água**. Campinas: Átomo, 2010.

LIMA, Rosete Ferreira de. **Influência do leito de contato na eficiência de remoção de ferro de águas subterrâneas**. Orientadora: Luiza Carla Girard Teixeira Machado. 2006. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/1677>>. Acesso em: 12 mar.2019.

MAHAN, B. M. **Química: um curso universitário**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

MANAHAN, S. E. **Environmental Science and Technology**. New York: Lewis Publishers, 1997.

MARGAT, J. Repartition des ressources et des utilisations d'eau dans le monde disparités presentes et futures. Paris: **La Houille Blanche: revue internationale de leau**, 2: 40-51. 1998.

MATOS, A. **Águas destinadas ao consumo humano: riscos para a saúde humana resultantes da exposição a ferro**. Lisboa: Departamento de Saúde Pública, 2008.

MERTEN, G. H. & MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, 3: 33-38. 2002.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A. de; VIDAL, C. B.; MELO, D. de Q. & RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/270272604>>. Acesso em: 19 dez. 2018.

NEBEL, B. J. & WRIGHT, R. T. New Jersey: **Environmental Science**, 7., 2000.

ORTOLANO, L. **Environmental Regulation and Impact Assessment**. New York: John Wiley & Sons, 1997.

PICANÇO, F.E.L.; LOPES, E.C.S; SOUZA, E.L.de. Fatores responsáveis pela ocorrência de ferro em águas subterrâneas da Região Metropolitana de Belém/PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12, 2002, **Anais** [...]. São Paulo. Resumos. São Paulo. ABAS, 2002.

PIELOU, E. C. **Freshwater**. Chicago: The University of Chicago Press, 1998.

PIVELI, Roque Passos; KATO, Mario Takayuki. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/directbitstream/b2773d05-c583-4be1-bf79-cc0f3dd77a81/Piveli-2006-Qualidade.pdf>>. Acesso em: 26 fev. 2019

REBOUÇAS, A.; TUNDISI G. J. & BRAGA, B. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999.

RIBEIRO, A. O que é lixiviação do solo. **Brasil Escola**, 2017. Disponível em: <<https://www.google.com/amp/s/m.brasilecola.uol.com.br/amp/o-que-e-lixiviacao-solo.htm>>. Acesso em: 19 de jan. de 2019.

RICHTER, C. A. & NETO, J. M. A. **Tratamento de Água, tecnologia atualizada**. Ed. Edgard Blücher, 1991.

RODRIGUEZ, F. Recursos hídricos para a irrigação: aspectos institucionais. Brasília: **Irrigação e Tecnologia Moderna**: 21- 33. 1991.

SETTI, M. do C.B. de C. **Reuso da água: condições de contorno**. 1995. 270p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SUTCLIFFE, J. F. **As plantas e a água**. São Paulo: EPU / EDUSP, 1980. (Temas de Biologia, 23).

TEXEIRA, J.C, Leal, F.C.T. Desafios no Controle de Doenças de Veiculação Hídrica Associadas ao Tratamento e ao Abastecimento de Água para Consumo Humano. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6, 2002, Set 3-5; **Anais** [...] Vitória ES; 2002. p.1-5.

TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos. O Futuro dos Recursos. **MultCiência**, 1: 1-15. 2003a.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI**: Enfrentando a escassez. 2. Editora RiMa, 2003b.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para gestão de recursos hídricos. São Paulo: **Revista USP**, 70: 24-35. 2006.

U. S. GEOLOGICAL SURVEY. Water Science Schools, 1999. Disponível em: <<http://ga.water.usgs.gov/edu/>>. Acesso em: 17 dez. 2018.

VAITSMAN, D. S.; AFONSO, J. C. & DUTRA, P. B. **Para que serve os elementos químicos**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2001

WATSON, R. T.; DIXON, J. A.; HAMBURG, S. P.; JANETOS, A. C. & MOSS, R. H. **Protecting our planet securing our future**: linkages among global environmental issues and human needs. Nairobi: UNEP; Washington, DC: NASA; World Bank, 1998.

World Health Organization. Guidelines for Drinking - water Quality. **First Addenda Third Edition**. 1. 2006. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546964_eng.pdf>. Acesso em 19 dez. 2018.