



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**FACULDADE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA**

**YURI RIBEIRO DE RIBEIRO**

**PADRÕES HIDROQUÍMICOS DE POTABILIDADE E FATORES DE  
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE POÇOS NAS  
ADJACÊNCIAS DO CAMPUS UFPA – ANANINDEUA (ICUÍ-  
GUAJARÁ)**

Ananindeua - PA

2019

**YURI RIBEIRO DE RIBEIRO**

**PADRÕES HIDROQUÍMICOS DE POTABILIDADE E FATORES DE  
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE POÇOS NAS  
ADJACÊNCIAS DO CAMPUS UFPA – ANANINDEUA (ICUÍ-  
GUAJARÁ)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Ciência e Tecnologia com ênfase em tecnologia mineral da Universidade Federal do Pará como requisito da obtenção do título do grau Bacharel em Ciência e Tecnologia com ênfase em Tecnologia Mineral

Orientador: Prof. Dr. Daniel José Lima de Sousa

Ananindeua - PA

2019

YURI RIBEIRO DE RIBEIRO

**PADRÕES HIDROQUÍMICOS DE POTABILIDADE E FATORES DE  
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE POÇOS NAS  
ADJACÊNCIAS DO CAMPUS UFPA – ANANINDEUA (ICUÍ-GUAJARÁ)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Ciência e tecnologia com Ênfase e Tecnologia Mineral da Universidade Federal do Pará como parte do requisito à obtenção do título do grau Bacharel em Ciência e Tecnologia com Ênfase em Tecnologia Mineral, e aprovado pela seguinte banca orientadora.

Data de aprovação: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**Banca Examinadora:**

---

Orientador: Prof. Dr. Daniel José Lima de Sousa

---

Membro Interno: Prof. Dr. Silvio Bispo do Vale

---

Membro Externo: Prof. MSc. Alacid do Socorro Siqueira Neves

---

Membro Externo: Mestrando Gabriel da Silva Gomes (PPGEC/UFPA).

Ananindeua, PA.

2019

Este trabalho dedico a minha Mãe Niuraceli Araujo Ribeiro, que sempre esteve no meu lado como verdadeira amiga.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado o dom da vida e por ter me dado saúde e forças para concluir esta etapa da minha vida.

A minha mãe, Niuraceli Ribeiro e meu pai, Wanderley Ribeiro, pela paciência nos momentos de ausência, pelo apoio inquestionável de ambas as partes e todo o amor e carinho dedicados a mim.

Ao meu orientador Prof. Daniel Lima, por ter acreditado em mim, pelo grande apoio, paciência, incentivo, sua valiosa contribuição em várias etapas deste trabalho, sempre disposto a me auxiliar, de maneira simples e profissional. E ao Prof. Dr. Silvio Bispo pelo apoio e incentivo.

A Profa. Leila Miranda Hanna, por disponibilizar o Laboratório de Hidroquímica do IG para a realização das análises, seu tempo e conhecimento compartilhado.

Aos meus amigos de curso, em especial Maycon Ruan, Gabriel Gomes, Igo leal e Felipe Santos, pelos momentos, companheirismo, amizade e pela cumplicidade em todos esses anos durante a “caçada” de conhecimento.

Aos professores do curso, que fizeram parte desta conquista, compartilhando seus conhecimentos.

Ao Prof. Dr José Augusto responsável pelo laboratório de Cromatografia do Instituto de Geociências da UFPA.

Ao Setor de Recreação da UFPA, pelo acolhimento nos momentos difíceis, assim como pelos momentos de alegria que levarei para sempre na memória.

Aos meus parentes e amigos, que direta ou indiretamente contribuíram para que esse momento chegasse.

A todos meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A água é indispensável para os seres vivos, e é utilizada para diversas finalidades. Nas últimas décadas o aumento da população acelerou o processo de urbanização de diversas áreas sem um prévio preparo, ou qualquer infraestrutura de saneamento. A concentração de grandes massas populacionais com baixo poder aquisitivo em áreas urbanas periféricas, é aspecto a ser considerado, tendo em vista que nestas áreas observa-se, a utilização de práticas inadequadas de disposição de resíduos sólidos e esgoto, que contribuem para a contaminação das fontes de água superficiais e subterrâneas. Fontes estas que, por necessidade, abastecem a própria população por coleta direta ou perfuração de poços. Este trabalho teve o objetivo de avaliar a qualidade do aquífero consumido pela população, e caracteriza-los quanto ao padrão de potabilidade estabelecido pela portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. A divulgação dos resultados dos agentes contaminantes obtidos permitirá contribuir socialmente a fim de gerar uma consciência nos moradores da região sobre os riscos sofridos pelo consumo destas águas, o que contribuirá para uma melhora na qualidade de vida através da prevenção de doenças. Para a avaliação de qualidade do aquífero, foram analisados os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, temperatura, turbidez, cor aparente, acidez, alcalinidade total, bicarbonato, dureza total, íons amônio, nitrato, sulfato, fosfato, cloreto, sódio, potássio, cálcio e magnésio. Foram coletadas amostras de oito poços ao todo, escolhidos de forma aleatória respeitando certa distância entre os mesmos; a profundidade dos poços varia entre 15 e 28 metros. As análises foram realizadas no laboratório de Hidroquímica e no laboratório de Cromatografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA), onde o estudo apontou que a exploração do aquífero da região não é adequada, através de poços semi-artesianos construídos sem critérios técnicos. Foram obtidos fortes indícios de contaminação por fossas sépticas, em decorrência do inadequado serviço de saneamento básico. Esta situação indica que o consumo dessas águas, poderá acarretar problemas à saúde da população.

**Palavras chave:** águas, potabilidade, qualidade.

## ABSTRACT

Water is indispensable for living beings, and is used for various purposes. In the last decades the increase of the population accelerated the process of urbanization of several areas without previous preparation, or any infrastructure of sanitation. The concentration of large population groups with low purchasing power in peripheral urban areas is an aspect to be considered, considering that in these areas the use of inadequate practices of disposal of solid wastes and sewage, which contributes to the contamination of surface and underground water sources. These sources, which, by necessity, supply the population itself by direct collection or well drilling. The aim of this study was to evaluate the quality of the aquifer consumed by the population and to characterize them in terms of the drinking standard established by Ministério da Saúde ordinance nº 2.914/2011. Dissemination of the results of the pollutants obtained will allow social contribution to raise awareness among the residents of the region about the risks of consuming these waters, which will contribute to an improvement in the quality of life through disease prevention. For the evaluation of aquifer quality, the following parameters were analyzed: pH, electrical conductivity, temperature, turbidity, apparent color, acidity, total alkalinity, bicarbonate, total hardness, ammonium, nitrate, sulfate, phosphate, chloride, sodium, potassium, calcium and magnesium. Samples were collected from eight wells in the whole, chosen randomly respecting some distance between them; the depth of the wells varies between 15 and 28 meters. The analyzes were carried out in the laboratory of Hydrochemistry and in the Laboratory of Chromatography of the Institute of Geosciences of the Federal University of Pará (UFPA), where the study indicated that the aquifer exploitation of the region is not adequate, through semi-artesian wells constructed without criteria technical. Strong evidence of septic tank contamination was obtained as a result of inadequate sanitation service. This indicates that the consumption of these waters may lead to health problems for the population.

**Key words:** water, potability, quality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Tipos de aquíferos quanto a porosidade .....	17
Figura 2- Identificação dos poços.....	25
Figura 5- Determinação do amônio em laboratório.....	33
Figura 6- Determinação do nitrato em laboratório de P7 .....	34



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Comparação das amostras em pH .....	29
Gráfico 2- Comparação das amostras em CE.....	30
Gráfico 3- Comparação das amostras em alcalinidade.....	31
Gráfico 4- Comparação das amostras em amônio .....	32
Gráfico 5- Comparação das amostras em nitrato.....	34
Gráfico 6- Comparação das amostras em sulfato .....	35
Gráfico 7- Comparação das amostras em fosfato .....	36
Gráfico 8- Comparação das amostras em cloreto .....	37
Gráfico 9- Comparação das amostras em bicarbonato .....	38
Gráfico 10- Comparação das amostras em turbidez .....	39
Gráfico 11- Comparação das amostras em cor aparente .....	40
Gráfico 12- Comparação das amostras em ferro total .....	41
Gráfico 13- Comparação das amostras em sódio .....	42
Gráfico 14- Comparação das amostras em potássio .....	43
Gráfico 15- Comparação das amostras em cálcio .....	44
Gráfico 16- Comparação das amostras em magnésio.....	44
Gráfico 17- Comparação das amostras em dureza .....	45
Gráfico 18- Comparação das amostras em sólidos totais dissolvidos .....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	- Agência Nacional de Águas
APHA	- American Public Health Association
Ca <sup>2+</sup>	- Cálcio
CaCO <sub>3</sub>	- Carbonato de cálcio
CE	- Condutividade Elétrica
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Cl <sup>-</sup>	- Cloreto
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
Fe	- Ferro
HCl	- Ácido clorídrico
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	- Bicarbonato
HNO <sub>3</sub>	- Ácido nítrico
IG	- Instituto de Geociências
K <sup>+</sup>	- Potássio
mg/L	- Miligrama por litro
Mg <sup>2+</sup>	- Magnésio
MS	- Ministério da Saúde
Na <sup>+</sup>	- Sódio
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	- Amônio
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	- Nitrato
OMS	- Organização Mundial da Saúde
PA	- Pará
pH	- Potencial Hidrogeniônico
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	- Fosfato
P1	- Poço 1
P2	- Poço 2
P3	- Poço 3
P4	- Poço 4
P5	- Poço 5
P6	- Poço 6
P7	- Poço 7

P8	- Poço 8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	- Sulfato
STD	- Sólidos totais dissolvidos
UFPA	- Universidade Federal do Pará
uH	- Unidade de Hazen
USEPA	- United States Environmental Protection Agency
uT	- Unidade de turbidez
VMP	- Valor Máximo Permitido
μS/cm	- Micro siems por centímetro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>1.1 Considerações iniciais</b> .....	13
<b>1.2 Problemática e justificativa</b> .....	14
<b>2 Objetivo</b> .....	15
<b>2.1 Objetivos específicos</b> .....	15
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
<b>3.1 Água subterrânea</b> .....	16
<b>3.2 Aquíferos</b> .....	16
3.2.1 Aquífero local e litologia do solo .....	17
<b>3.3 Perigo de contaminação por falta de saneamento</b> .....	18
3.3.1 Conceitos básicos de contaminação e poluição .....	18
3.3.2 Conceitos básicos de saneamento .....	18
<b>3.4 Origens e fontes de contaminação da água subterrânea</b> .....	19
<b>3.5 Caracterização de contaminantes e impurezas presentes na água</b> .....	19
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	24
<b>4.1 Levantamento de campo</b> .....	24
<b>4.2 Seleção dos parâmetros</b> .....	24
<b>4.3 Amostragem das águas</b> .....	24
<b>4.4 Métodos de análise</b> .....	25
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	28
<b>5.1 Qualidade das águas subterrâneas</b> .....	28
5.1.1 Potencial hidrogeniônico (pH) .....	29
5.1.2 Condutividade elétrica .....	30
5.1.3 Alcalinidade total .....	31
5.1.4 Amônio .....	31
5.1.5 Nitrato .....	33
5.1.6 Sulfato .....	35
5.1.7 Fosfato .....	36
5.1.8 Cloreto .....	37
5.1.9 Bicarbonato .....	38
5.1.10 Turbidez .....	39
5.1.11 Cor aparente .....	40

5.1.12 Ferro total .....	41
5.1.13 Sódio.....	42
5.1.14 Potássio.....	43
5.1.15 Cálcio.....	43
5.1.16 Magnésio .....	44
5.1.17 Dureza total.....	45
5.1.18 Sólidos totais dissolvidos .....	46
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>47</b>
<b>7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

A contaminação dos ecossistemas aquáticos resultante das atividades antropogênicas constitui uma das grandes preocupações ecológicas dos últimos anos. A má gestão do solo, aliada ao crescimento da população e a expansão industrial observadas nas últimas décadas, tem provocado o decréscimo da qualidade da água de rios, lagos e reservatórios. O uso e ocupação do solo alteram sensivelmente os processos físico-químicos naturais (MENEZES et al., 2016).

A grande quantidade de resíduos e outros compostos produzidos pelo homem e não adequadamente saneados, implicam no comprometimento da qualidade das águas, que normalmente recebem toda a carga de poluentes (AYACH et al., 2012)

O propósito primário para a exigência de qualidade da água é a proteção à saúde pública. A água de consumo humano é um dos importantes veículos de enfermidades (AMARAL et al., 2003). Dentre as substâncias que podem constituir riscos à saúde humana, incluem-se os compostos de nitrogênio nos seus diferentes estados de oxidação: nitrogênio amoniacal e albuminoide, nitrito e nitrato.

A água potável pode ser definida como água para consumo humano cujos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e radioativos, atendam ao padrão de potabilidade e não ofereça riscos à saúde, definidos pelos valores máximos permissíveis.

As regulamentações que estabelecem os padrões de potabilidade de água no Brasil são determinadas pela Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde, Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a nível internacional, a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a United States Environmental Protection Agency (USEPA).

O presente trabalho avaliou de forma pontual aspectos hidroquímicos da água, analisando a presença de contaminantes de forma a verificar se estavam de acordo com os padrões exigidos pelas portarias responsáveis citadas anteriormente. A pesquisa foi realizada no bairro Icuí - Guajará, região circunvizinha ao *Campus* Ananindeua da Universidade Federal do Pará e os seguintes parâmetros foram analisados: pH, condutividade elétrica (CE), turbidez, cor aparente, acidez, alcalinidade total, bicarbonato, dureza total, íons amônio, nitrato, sulfato, fosfato, cloreto, sódio, potássio, cálcio e magnésio.

## 1.2 Problemática e justificativa

Segundo Bastos (2013), no Brasil, ocupações feitas de forma irregular e desordenada e em locais sem infraestrutura são bastante comuns por população de baixa renda. Elas se estabelecem em locais sem saneamento básico e sem distribuição pública de água e energia, por este motivo, muitos suprem essas necessidades da maneira que podem. Em se tratando do abastecimento de água, é comum a escavação de poços de forma rudimentar, construídos sem critérios técnicos, alcançando assim a água mais próxima da superfície.

Ainda segundo Bastos (2013), a ausência de saneamento básico, por sua vez, não dá destino apropriado aos dejetos produzidos pelos habitantes, resíduos sólidos e esgoto conseqüentemente ficam a céu aberto ou caem em instalações improvisadas que não oferecem segurança ou algum tipo de tratamento. A captação de esgoto sanitário produzida nessas ocupações também não seguem padrões de segurança, são chamadas de fossas rudimentares, ou fossas negras, estas que são escavadas dentro das delimitações do mesmo terreno onde o poço é feito, estabelecendo uma proximidade que oferece grande risco de contaminação, agravada pela característica do aquífero proveniente do solo, que é do tipo poroso, o mais vulnerável a contaminação. A decomposição de materiais no solo, dejetos e esgoto, produzem contaminantes que facilmente infiltram o solo podendo chegar até as águas subterrâneas, assim como, podem ser arrastados pela água da chuva e infiltrar diretamente para poço pelas suas paredes.

O consumo de água fora dos padrões de potabilidade, pode causar danos à saúde como, parasitoses, infecções e intoxicações por compostos químicos. Os padrões de Potabilidade estabelecem valores máximos permissíveis para os diversos parâmetros, estabelecendo a água adequada para o consumo humano (quimicamente falando, não é água pura). Contudo, doenças de propagação hídrica podem ser reduzidas, controladas ou evitadas não consumindo água imprópria para consumo, assim como consumindo apenas água com qualidade dentro dos padrões de potabilidade.

## **2 OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo geral**

Este trabalho teve o objetivo de avaliar a qualidade do aquífero consumido pela população, e caracteriza-los quanto ao padrão de potabilidade estabelecido pela portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, contribuindo socialmente, melhorando a qualidade de vida da população e prevenindo doenças, estabelecendo resultados de agentes contaminantes

### **2.2 Objetivos específicos**

- Obter resultados quantitativos de contaminantes na água dos poços.
- Avaliar padrões hidroquímicos de potabilidade da água em poços semi-artesianos da região circunvizinha ao Campus Universitário de Ananindeua.
- Avaliar os riscos relacionados ao consumo da água dos poços analisados.



### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Água subterrânea**

A água subterrânea é toda aquela que se encontra armazenada abaixo da superfície da Terra, preenchendo os espaços vazios ocorridos entre os grãos sedimentares, ou fraturas, falhas e fissuras contidas nas rochas compactadas. A água subterrânea é um recurso natural que sustenta o desenvolvimento do meio rural, urbano e industrial (FEITOSA et al., 2008).

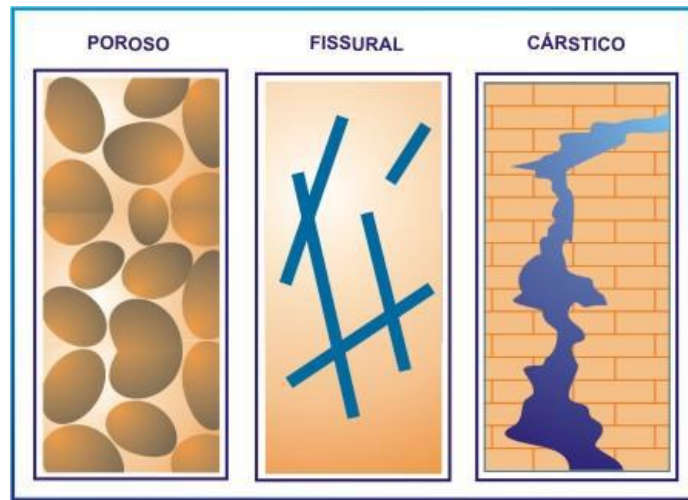
Segundo Bastos (2013), após precipitar, parte da água da chuva que não escoou pela superfície percola para o interior do subsolo, a velocidade de tal processo depende de fatores como, porosidade do solo, presença ou não de cobertura vegetal, índice pluviométrico, inclinação do terreno, entre outros fatores, este processo é chamado de Ciclo Hidrológico. Ao infiltrar o solo, a água passa primariamente por uma zona denominada Zona Não Saturada, onde os poros presentes no solo são preenchidos parcialmente por água e por ar, parte desta água continua a descer por influência da gravidade até atingir outra zona, chamada de Zona Saturada, onde todos os poros presentes são preenchidos por água. O limite entre a Zona Saturada e a Zona Não Saturada é chamado de lençol freático, que pode ser observado quando é feita a perfuração de um poço raso, pois o nível da água presente no poço, apresenta a profundidade do lençol freático naquele ponto.

#### **3.2 Aquíferos**

Segundo Ezaki e Iritani (2008), aquífero é um reservatório subterrâneo de água, caracterizado por camadas ou formações geológicas suficientemente permeáveis, constituído de rochas sedimentares ou rochas maciças compactas, capazes de armazenar e transmitir água.

Os aquíferos são classificados em três tipos, conforme a Figura 1. Os aquíferos do tipo Sedimentares ou Porosos, aquíferos Fraturados ou Fissural e aquíferos dos tipos Cársticos, são oriundos de rochas carbonáticas, e sua porosidade se dá por aberturas e cavidades causadas pela dissolução das rochas (BASTOS, 2013).

Figura 1- Tipos de aquíferos quanto a porosidade



**Fonte:** BOSCARDIN BORGHETTI et al. (2004) apud ABAS (2013)

Ainda, segundo Ezaki e Iritani (2008) pode-se classificar os aquíferos em dois tipos pelas suas características hidráulicas. O aquífero livre que tem em sua superfície uma camada permeável, o que o torna sujeito a pressão atmosférica e sua recarga é direta, sua parte inferior é limitada por uma camada impermeável. O aquífero confinado que é limitado por camadas impermeáveis, neste caso a pressão a qual o aquífero está submetido é maior que a atmosférica devido a suas camadas confinantes, este aquífero por sua vez tem uma recarga lenta.

### 3.2.1 Aquífero local e litologia do solo

A formação geológica da região é constituída por rochas e sedimentos de idades Oligo-Miocênica e Pleito-Miocênica, representadas pelas formações Pirabas, Barreiras, Pós-Barreiras e sedimentos holocênicos (CABRAL, 2004).

Segundo o Mapa Geológico - Folha Belém - SA.22-X-D-III CPRM (2010), o tipo de solo da região estudada é sedimentar argiloso, de uma cobertura cenozoica do período quaternário, formado por depósitos aluviais, coluviais e eluviais; eólicos, fluviais, e formação Superficial Intempérica (formação laterítica). Uma litologia predominantemente composta por areias, siltes e argilas, possui uma porosidade entre grãos considerável e de consolidação relativamente baixa. Dada as características do solo da região, o aquífero presente na área estudada é do tipo livre poroso, de fácil contaminação, cuja a recarga se dá diretamente pela precipitação pluviométrica, enquanto que a descarga se efetiva através de um rio que corta a área, evapotranspiração e poços de captação.

### 3.3 Perigo de contaminação por falta de saneamento

#### 3.3.1 Conceitos básicos de contaminação e poluição

Feitosa et al., (2008, p.381) define as seguintes considerações:

Os conceitos e definições apresentados a seguir fazem parte da linguagem utilizada por profissionais da área de recursos hídricos e pesquisadores em geral.

- a) **Água Subterrânea** - é uma solução diluída de inúmeros elementos e compostos sólidos, líquidos ou gasosos em proporções variadas, provenientes do ar, do solo e das rochas, nos quais circula ou é armazenada e do contato com as atividades humanas.
- b) **Poluir** - relacionada a água, a poluição pode ser definida como uma alteração superficial de sua qualidade físico-química (o suficiente para exceder os padrões estabelecidos para determinado fim).
- c) **Poluente** - é toda a substância que ameaça a saúde, a segurança e o bem-estar (questões econômicas), altera as características de águas receptoras para determinados fins ou modifica normas de qualidade pré-estabelecidas.
- d) **Água poluída** - o conceito de água poluída depende do ponto de vista, ou seja, uma água pode ser considerada poluída para determinado fim e não para outro.
- e) **Água contaminada** - é uma água que possui organismos patogênicos, substâncias tóxicas e/ou radioativas, em teores prejudiciais a saúde do homem. Assim toda a água contaminada é poluída, mas nem toda a água poluída (desde que não afete a saúde do homem) é contaminada.

#### 3.3.2 Conceitos básicos de saneamento

Segundo a Ribeiro e Rookie (2010), a Organização Mundial da Saúde (OMS) define saneamento como o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social. De outra forma, pode-se dizer que saneamento caracteriza o conjunto de ações socioeconômicas que tem por objetivo alcançar salubridade ambiental. Por meio desta definição, ainda segundo Ribeiro e Rookie (2010), podemos considerar o saneamento como o conjunto de procedimentos adotados numa determinada região visando proporcionar uma situação higiênica e saudável para os habitantes, ou seja, uma atividade relacionada ao abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto, manejo de resíduos sólidos e o controle de pragas e qualquer tipo de agente patogênico visando a saúde do meio e conseqüentemente da comunidade.

### **3.4 Origens e fontes de contaminação da água subterrânea**

As contaminações das águas subterrâneas podem ter origens diversas, sendo atualmente mais comuns aquelas relacionadas diretamente com atividades industriais, domésticas e agrícolas (pontuais ou difusas) (FEITOSA et al., 2008).

#### **3.4.1 Atividades industriais:**

Podem produzir contaminação subterrânea por meio de:

- a) Águas usadas contendo compostos químicos, metais e/ou com alta temperatura;
- b) Elementos radioativos;
- c) Chorume (infiltrações através de aterros sanitários e etc.);
- d) Acidentes com produtos químicos; (FEITOSA et al., 2008).

#### **3.4.2 Atividades agrícolas:**

Produzem contaminantes através de:

- a) Solutos dissolvidos por chuva ou irrigação;
- b) Fertilizantes;
- c) Sais, herbicidas, pesticidas etc.; (FEITOSA et al., 2008).

#### **3.4.3 Atividades domésticas:**

Podem produzir contaminação da seguinte maneira:

- a) Chorume de aterros sanitários, lixões e etc.
- b) Rompimento ou utilização inadequada de redes de esgoto e fossas sépticas; (FEITOSA et al., 2008).

Como é facilmente constatado, o local do estudo é uma região urbana, de ocupação irregular, portanto, sujeita a contaminação por atividades domésticas, utilização de fossas sépticas e esgoto inadequados.

### **3.5 Caracterização de contaminantes e impurezas presentes na água**

Os parâmetros que delimitam níveis para a água de consumo humano são físicos, químicos e biológicos. As propriedades físicas são características de ordem estética, não caracterizando riscos a saúde do consumidor, elevados valores de algumas delas, podem causar certa repugnância a consumidores mais exigentes. As águas subterrâneas dificilmente são portadoras de características perceptíveis, exceto o sabor decorrente de sais dissolvidos em quantidade excessiva (FEITOSA e MANOEL FILHO, 1997).

- a) **Cor** - Está relacionada com as substâncias dissolvidas na água. Se a água subterrânea apresentar uma cor azulada, pode esta, se encontrar pura, se conferir uma cor arroxeada pode conter ferro dissolvido, negra rica em manganês e amarelada conter ácidos húmicos (BASTOS, 2013). A Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde, estabelece para cor aparente o valor máximo permitido de 15 µH como padrão de aceitação para consumo humano.
- b) **Odor e Sabor** - Dependem do teor e tipo de sais dissolvidos.
- c) **Turbidez** – Segundo FUNASA (2013), a turbidez da água é devido à presença de materiais sólidos em suspensão, que reduzem a sua transparência. Pode ser provocada também pela presença de algas, plâncton, matéria orgânica e muitas outras substâncias como o Zn, Fe, Mn e material com granulometria areia/silte/argila, resultantes do processo de erosão ou de despejos domésticos e industriais. O valor máximo permitido pela Portaria é de 5,0 µT como padrão de aceitação para consumo humano.
- d) **Sólidos Totais** - Carga sólida em suspensão que pode ser separada por simples filtração. As características químicas das águas subterrâneas refletem os meios percorridos, guardando uma relação com os tipos de rochas e com os produtos das atividades humanas adquiridas ao longo de seu trajeto.
- e) **Sólidos Totais Dissolvidos** - Os sólidos nas águas são proporcionais a toda matéria que permanece após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma dada temperatura em tempo fixado (PIVELI; KATO, 2006).
- f) **Condutividade elétrica** - Facilidade de condução de corrente elétrica, está relacionada ao teor de sais dissolvidos.
- g) **Dureza total** - A dureza é um parâmetro característico da qualidade da água de consumo humano e de insumo industrial. Águas com dureza elevada pode causar incrustação nas tubulações e a elevação do consumo de sabão. A dureza total da água compõe-se em duas partes: dureza temporária, chamada de dureza de carbonatos é causada pela presença de bicarbonatos de cálcio e magnésio que pode ser eliminada com a ebulição e dureza permanente, chamada de dureza de não carbonato é devido a presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio, não produzem incrustações por conter sais muito solúveis, não decompõem sob ação de calor (BASTOS, 2013). Assim, a dureza total é a soma da dureza de carbonato e dureza de não carbonato, sendo expressa em miligramas por litro (mg/L) de CaCO<sub>3</sub>. A Portaria vigente da qualidade da água para consumo humano estabelece limites altos de dureza, de até 500 (mg/L). Segundo Von Sperling (1996), águas de elevada dureza possui efeitos laxativos e sabor desagradável.

- h) **Ferro** - O ferro é o segundo metal mais comum na crosta terrestre, apenas em menor quantidade que o alumínio. Suas fontes são minerais escuros (máficos) como: magnetita, biotita, pirita, piroxênios, anfibólios e no ambiente natural, a origem desse elemento pode estar relacionada a depósitos orgânicos, detritos de plantas, podendo associar-se a coloides ou húmus, o que dá a cor amarelada à água (CPRM, 1997 apud OLIVEIRA, 2013). Apesar de o organismo necessitar diariamente de 19 mg de ferro, a Portaria de potabilidade exige que a água de abastecimento público não ultrapasse 0,3 mg/L. Esse limite é estabelecido devido aos problemas estéticos relacionado a presença do ferro na água e do sabor ruim que o ferro lhes confere (BASTOS, 2013). No corpo humano, o ferro atua na formação da hemoglobina (pigmento do glóbulo vermelho que transporta oxigênio dos pulmões para os tecidos). A sua carência pode causar anemia e seu excesso pode aumentar a incidência de problemas cardíacos e diabetes (CPRM, 1997 apud OLIVEIRA, 2013).
- i) **Cloretos** - Cloretos podem estar presentes naturalmente em águas salobras ou como resultado de poluição por efluentes industriais ou domésticos, constituindo, portanto, indicador auxiliar de poluição ou contaminação. Em águas para consumo humano, a concentração de cloretos está diretamente associada à alteração de sabor e, conseqüentemente, à aceitação para consumo. Os cloretos presentes na água que alteram sabor são, principalmente, os de sódio, potássio e cálcio, em concentrações superiores a 200 – 300 mg/L. No padrão de potabilidade brasileiro, o valor máximo permitido é o de 250 mg/L (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011).
- j) **Amônia** - A amônia é considerada um poluente por ter efeitos tóxicos. A sua forma dissolvida mais simples pode ser encontrada na água como amônia livre ou ionizada. Pode ser produzida, ou formada naturalmente pelas atividades dos microrganismos, plantas e animais através do ciclo do nitrogênio. As águas subterrâneas não têm, normalmente, concentrações elevadas de amônia, contudo caso ocorram poderá ser um indício de eventuais processos de contaminação orgânica, de origem humana ou industrial (BASTOS, 2013). No caso da água potável, a Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, limita uma concentração de amônia em 1,5 mg/L para água de consumo humano.
- k) **Nitrato** - O nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural na água e no solo em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas negras, aumenta drasticamente a quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e por fim

se transforma na substância inorgânica denominada nitrato que possui grande mobilidade no solo alcançando o manancial subterrâneo e ali se depositando. O nitrato por possuir essas características, se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida (MELLO, 1984 apud CAMPOS, 2010). Em elevadas concentrações, o nitrato está adjunto à doença da metahemoglobinemia ou síndrome do bebê azul, que dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea de bebês podendo acarretar a asfixia. Em adultos, a atividade metabólica interna impede a conversão do nitrato em nitrito, que é o agente responsável por essa enfermidade. Águas utilizadas para abastecimento, contaminadas com nitrato, têm causado problemas, tanto para animais como para o homem. As crianças com idade inferior a três meses são mais sensíveis a íons nitrato por consumirem, relativamente, mais água que os adultos quando se compara seu peso corporal. Além disso, o pH do estômago de crianças é mais favorável ao desenvolvimento de bactérias que agem reduzindo íons de nitrato a íons de nitrito, o que não ocorre normalmente no adulto (DANIEL, 2008). Concentrações maiores que 10 mg/L de nitrato, expresso como nitrogênio (N-NO<sub>3</sub>), podem ser fatais para crianças com idades inferiores a seis meses e causar problemas de saúde em animais. Assim, a fim de se evitar esses distúrbios, estabeleceu-se um limite máximo de 10 mg/L N-NO<sub>3</sub> em água potável (DANIEL, 2008).

- l) **pH** - É a medida da concentração de íons H<sup>+</sup> na água. O balanço dos íons hidrogênio (H<sup>+</sup>) e hidróxido (OH<sup>-</sup>) determinam quanto ácida ou básica ela é. As águas quimicamente puras teriam os íons H<sup>+</sup> em equilíbrio com os íons OH<sup>-</sup>, tornando seu pH neutro, ou seja, igual a 7. Os principais fatores que determinam o pH da água são o gás carbônico dissolvido e a alcalinidade (MATTA, 2002). Conforme Matta (2002), as águas subterrâneas tendem ao neutro (solução-tampão, mas alto pH deve-se ao CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> e baixo pH ao SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, normalmente.
- m) **Alcalinidade** - A alcalinidade é devida principalmente à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Os compostos mais comuns são os seguintes:
- I. Hidróxidos de cálcio ou de magnésio;
  - II. Carbonatos de cálcio ou de magnésio;
  - III. Bicarbonatos de cálcio ou de magnésio;
  - IV. Bicarbonatos de sódio ou de potássio.

A alcalinidade das águas não representa risco potencial à saúde pública. Provoca alteração no paladar e há a rejeição da água em concentrações inferiores às que eventualmente pudessem trazer prejuízos mais sérios portanto a alcalinidade não se constitui em padrão de potabilidade (BASTOS, 2013).

- n) **Resíduo Seco** - É o peso dos sais resultantes da evaporação de um litro de água, após a filtragem para a remoção dos materiais em suspensão.
- o) **Oxigênio Dissolvido (OD)** - É um dos principais parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição das águas decorrentes de despejos orgânicos. A presença de OD em águas ricas em material orgânico é desejável por prevenir a formação de substâncias com odores desagradáveis que comprometem os diversos usos da água, como por exemplo, consumo humano. Segundo Feitosa; Manuel Filho, 1997, os valores normalmente encontrados em águas subterrâneas são de 5 mg/L.
- p) **Coliformes Totais (CTO)** - As bactérias do grupo coliformes são utilizadas como indicadores de contaminação bacteriológica da água. Além de serem encontradas nas fezes, elas podem ocorrer no meio ambiente, em águas com alto teor de material orgânico, solo ou vegetação em decomposição. Na análise que acusar presença de coliformes totais, ainda não indica necessariamente que água contaminada por bactérias patogênicas ou vírus, mas indica uma grande probabilidade. De acordo com a Portaria do Ministério da Saúde, em vigência, a análise deverá apresentar ausência de coliformes em 100 mL de amostra (BASTOS, 2013).
- q) **Coliformes Termotolerantes (CTE)** - Os coliformes termotolerantes vivem normalmente no organismo humano, existindo em grande quantidade nas fezes de humanos, animais domésticos, selvagens e pássaros. Na análise que acusar a presença de coliformes ainda não indica necessariamente água contaminada por bactérias patogênicas ou vírus, mas a probabilidade é muito grande. De acordo com a Portaria do Ministério da Saúde, em vigência, a análise deverá apresentar ausência de coliformes em 100 mL de amostra (BASTOS, 2013).



## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Levantamento de campo

Para a aquisição dos dados, foram feitas diversas visitas ao local, para a tentativa de estipular possíveis locais com maiores índices de contaminação, obtendo-se informações sobre o tipo de poço, a profundidade média na região, presença de fossas negras e depósitos de lixo doméstico. Por relação, foram notadas diversas semelhanças em todas as residências visitadas, tais como, profundidade dos poços semi-artesianos, como mostrado no Quadro 1, tamanho aproximado da área dos terrenos individuais e a presença de fossas sépticas nas limitações da área dos terrenos. Devido às semelhanças, a seleção dos poços para análise foi baseada na recepção dos moradores, aceitação e interesses dos moradores em saber a qualidade da água de seus poços.

Quadro 1- Profundidade dos poços analisados

Parâmetros	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Profundidade (m)	15	18	18	18	18	18	18	28

Fonte: Autoria própria, 2019

### 4.2 Seleção dos parâmetros

Por conhecimento comum da região, sabe-se que o bairro Icuí - Guajará foi ocupado de forma irregular, tipo de ocupação onde a captação de água e esgoto é feita fora dos padrões ideais de segurança. Se tratando de terrenos pequenos, urbanização densa, com fossas sépticas e poços dentro de suas delimitações, sua contaminação pode ser considerada iminente.

A interação entre as águas rasas dos poços com fossas representa um risco potencial de contaminação por agentes químicos e biológicos, gerando o interesse em identificar e quantificar tais contaminantes químicos em pesquisa para este trabalho.

### 4.3 Amostragem das águas

As amostras foram coletadas em duas etapas de campo, realizadas em 2019, no mês de junho, ao final do período chuvoso da região, foram coletadas amostras de 8 poços semi-artesianos apresentados na Figura 2, para a realização de análises físico-químicas. As coletas das amostras dos poços foram realizadas em residências particulares, todas feitas em poços após bombeamento de rotina feito para encher o reservatório da residência, sendo assim, a água coletada diretamente da bomba, já não era a mesma água estagnada nos tubos. Todas as

amostras de água foram coletadas e conservadas seguindo os procedimentos recomendados por American Public Health Association - APHA (1998).

Figura 2- Identificação dos poços



Fonte: GOOGLE MAPS, 2019 (Adaptado com o acréscimo de pontos para fins didáticos)

Para a determinação dos parâmetros químicos foram coletadas águas em frascos de polietileno, com volumes de 1 litro. Para a análise de ferro total, as amostras foram coletadas em frascos de polietileno de 250 mL e preservadas com ácido clorídrico (HCl).

#### 4.4 Métodos de análise

Para o estudo dos padrões hidroquímicos de potabilidade das águas dos poços foram determinados: turbidez, cor aparente, dureza total, alcalinidade total, acidez total, ferro total,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ .

Para a determinação dos cátions, filtrou-se uma alíquota de aproximadamente 70 mL e preservou-se com ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). O sódio, potássio, cálcio e magnésio foram analisados por cromatografia no Laboratório de Cromatografia/IG/UFPA, utilizando o cromatógrafo

(DIONEX DX-120) próprio do laboratório. Os demais parâmetros: turbidez, cor aparente, dureza total, alcalinidade total, cloreto, sulfato, fosfato, nitrato e amônia, foram determinados no Laboratório de Hidroquímica/IG/UFPA. Para determinação do ferro total foi utilizado o espectrofotômetro (VARIAN 50 Probe) e sua preparação para a análise é mostrada na Figura 3.

Figura 3- Determinação do ferro total em laboratório



Fonte: Autoria própria, 2019

Para o  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e a cor aparente utilizou-se o espectrofotômetro (HACH/DR, 2010); a dureza total,  $\text{Cl}^-$  e a alcalinidade total foram determinados por titulação, exemplificada através da Figura 4.

Figura 4- Determinação do cloreto em laboratório



Fonte: Autoria própria, 2019

A turbidez foi determinada pelo método turbidimétrico e o bicarbonato foi calculado a partir da relação numérica da alcalinidade e bicarbonato como mostra a equação (1):



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Qualidade das águas subterrâneas

Para o entendimento e comparação das qualidades físico-químicas da água subterrânea coletada, foi utilizada a Tabela 1, que permite comparar os resultados das análises conjuntamente com seu valor máximo permitido (VMP).

Tabela 1- Valores descritivos dos parâmetros físico-químicos das amostras analisadas na área estudada e valores de potabilidade

Parâmetros	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	2914/2011/MS - COAMA VMP
<b>pH</b>	4,01	3,85	4,34	4,21	5,61	6,25	6,08	4,60	6 - 9,5
<b>CE</b>	348,00	234,00	158,40	115,30	489,00	877,00	783,00	258,00	-
<b>Alc. Total</b>	ND	ND	ND	ND	0,03	0,19	0,06	0,00	-
<b>Turbidez</b>	3,00	11,00	1,00	1,00	2,27	25,40	0,98	0,25	5
<b>C. Aparente</b>	15,00	47,00	8,00	6,00	13,00	212,00	8,00	5,00	15
<b>Dureza</b>	34,70	24,72	12,83	9,51	26,14	76,05	166,36	26,62	500
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	2,11	1,56	2,11	0,11	18,30	39,20	6,18	2,62	1,5
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	ND	ND	ND	ND	0,34	2,26	0,69	0,00	-
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	12,90	11,90	8,70	7,40	13,10	10,10	21,20	12,40	10
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	27,00	3,00	14,00	1,00	53,00	56,00	105,00	15,00	250
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	0,00	0,01	0,02	0,50	0,00	0,01	0,00	0,00	-
<b>Cl<sup>-</sup></b>	33,68	20,31	15,63	9,57	28,36	56,72	69,84	27,65	250
<b>Fe</b>	0,02	0,08	0,05	0,03	0,32	0,42	0,11	0,03	0,3
<b>Na<sup>+</sup></b>	-	-	-	-	18,00	18,22	25,78	10,30	200
<b>K<sup>+</sup></b>	-	-	-	-	3,82	8,29	9,14	12,18	-
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	-	-	-	-	3,62	10,46	ND	5,78	-
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	-	-	-	-	0,65	1,17	2,27	1,07	-
<b>STD</b>	226,20	152,10	102,96	74,95	317,85	570,05	508,95	167,70	1000

Fonte: Autoria própria, 2019

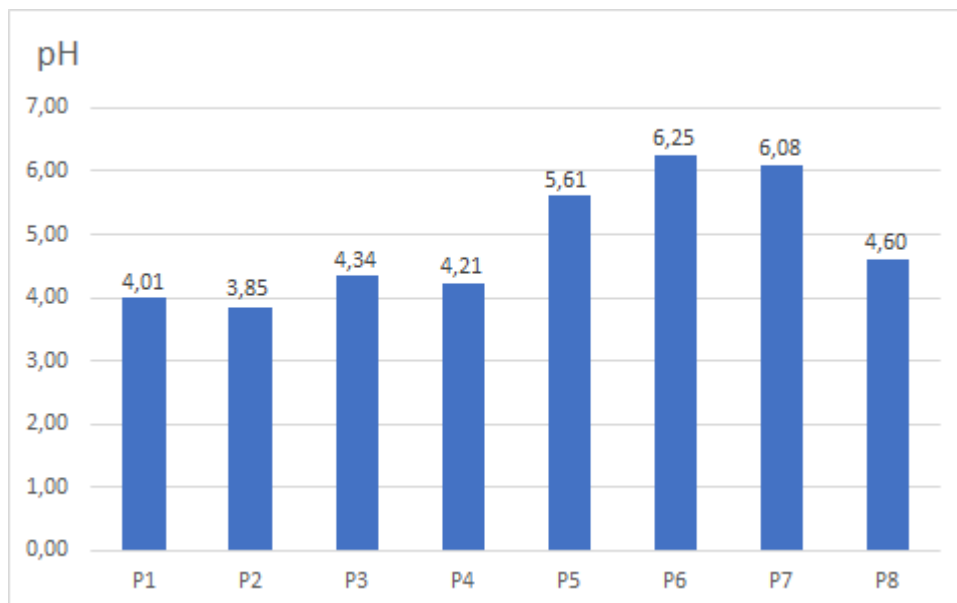
### 5.1.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Também o efeito indireto é muito importante podendo, em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes. Desta forma, as restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais (CETESB, 2016).

Conforme o Gráfico 1, os teores de pH nas águas analisadas variam de 4,01 a 6,25; sendo os valores mais elevados, superiores a 5 obtidos nas águas dos poços P5, P6 e P7.

Os valores mais elevados de pH, indicam as condições sanitárias do local, evidenciando a influência de contaminação por esgoto, o que contribui para a proliferação de organismos coliformes, formação de amônio que reflete um aumento no pH da água.

Gráfico 1- Comparação das amostras em pH



**Fonte:** Autoria própria, 2019

Seis das amostras analisadas apresentaram teores abaixo do valor mínimo estabelecido pela resolução nº 357/2005/CONAMA, que recomenda a faixa de 6,0 a 9,5 para potabilidade. Essa acidez pode ser explicada pela presença de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) dissolvido nas águas e de ácidos húmicos e fúlvicos provenientes da degradação de resíduos orgânicos do solo. Segundo Matta (2002), baixos valores de pH podem acarretar em doenças como gastrite e afins no organismo humano.

### 5.1.2 Condutividade elétrica

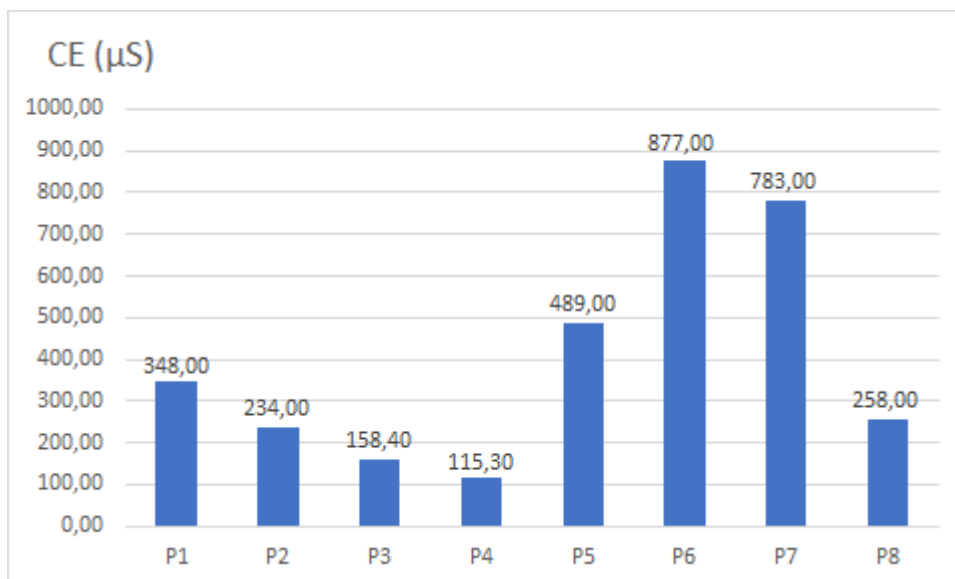
A condutividade elétrica pode ser definida como a medida de capacidade de uma substância conduzir corrente elétrica e está relacionada com a presença de íons dissolvidos na água.

Para as águas subterrâneas, a análise desse parâmetro é de fundamental importância, uma vez que a condutividade mede o grau de mineralização iônica das águas que, por sua vez, está diretamente associada à potabilidade para o consumo humano (MATTA, 2002).

Conforme o Gráfico 2, nos poços analisados, o menor valor de condutividade elétrica (CE) foi de 115,30  $\mu\text{S}$  obtido no poço P4. Se tratando de poços com profundidade aproximada, podemos tomar a medida obtida em P4 como o valor que mais se aproxima do esperado para águas subterrâneas livre de contaminantes daquela região. Valores muito elevados em relação ao constatado em P4, provavelmente estão relacionados à uma maior influência de fossa e esgoto.

A portaria nº 2.914/2011/MS não estabelece VMP para este parâmetro.

Gráfico 2- Comparação das amostras em CE



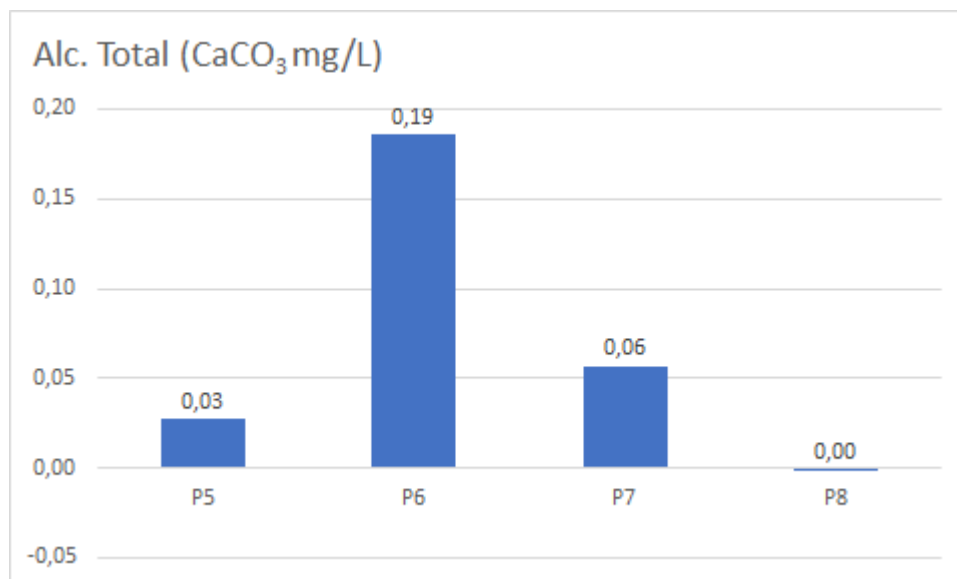
Fonte: Autoria própria, 2019

### 5.1.3 Alcalinidade total

A alcalinidade é a capacidade da água de neutralizar ácidos. Caracteriza a presença de carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ) e bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ). Os valores de alcalinidade são expressos como equivalente de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Não foram detectados valores de alcalinidade total em metade das amostras. O teor detectado na amostra P8 foi inexpressivo, enquanto a amostra P6 apresentou o maior índice, como apresentado no Gráfico 3.

Gráfico 3- Comparação das amostras em alcalinidade



**Fonte:** Autoria própria, 2019

De acordo com FUNASA (2014), altos valores de alcalinidade estão associados à decomposição da matéria orgânica. A portaria nº 2.914/2011 do MS, não estabelece especificação para valores de alcalinidade.

### 5.1.4 Amônio

O nitrogênio amoniacal (amônia + íon amônio) se apresenta em duas formas dissolvidas: o amoníaco ou amônia não ionizada ( $\text{NH}_3$ ) e o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), cujas proporções dependem do pH, da temperatura e da salinidade presentes no ambiente. Nas condições das amostras analisadas, a leitura de nitrogênio amoniacal é feita através do íon amônio, pois este representa quase que em totalidade o nitrogênio amoniacal presente. Segundo Piveli e Kato (2006), o nitrogênio orgânico e o nitrogênio amoniacal são fortes indicadores de poluição

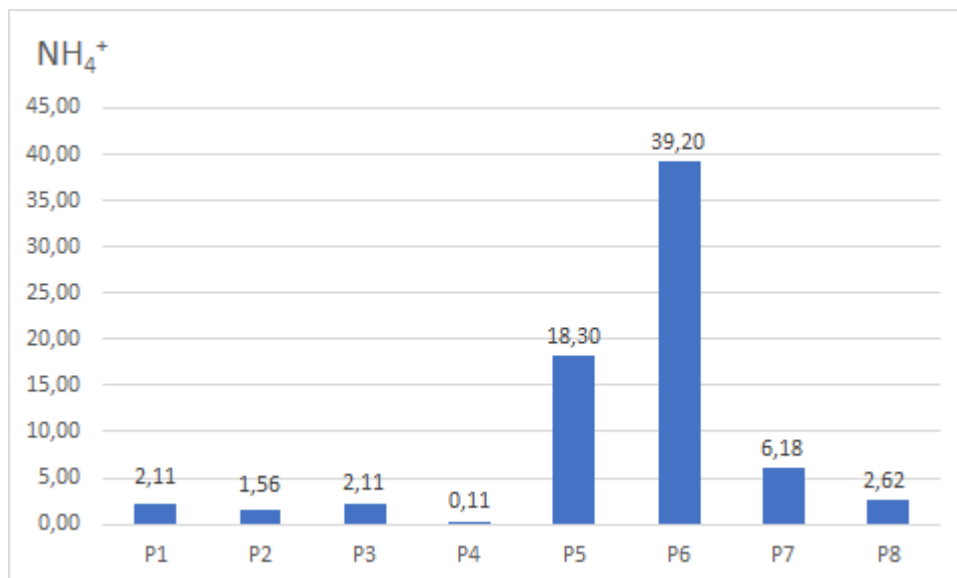


recente nos recursos hídricos, em geral, a principal fonte de nitrogênio amoniacal são, os esgotos sanitários devido à hidrólise da uréia na água.

Como o nitrogênio na forma de amônia não ionizada é mais tóxico, as concentrações de ( $\text{NH}_4^+$ ) podem se elevar sem que sua toxicidade seja crítica, se o pH e a temperatura se mantiveram dentro de certos limites. Segundo Reis e Mendonça (2012) altos valores do íon amônio são encontrados em ambientes anóxicos (ausência de oxigênio na presença de nitrato), onde ocorre uma intensa mineralização anaeróbica da matéria orgânica, e em locais próximos a efluentes urbanos.

Conforme o Gráfico 4, a amostra P4 apresentou o menor índice de íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), sendo de 0,11 mg/L. As amostras P1, P2, P3, P7 E P8, apresentaram valores significativos, enquanto as amostras P5 e P6 apresentaram valores alarmantes, de 18,30 mg/L e 39,20 mg/L do íon.

Gráfico 4- Comparação das amostras em amônio



Fonte: Autoria própria, 2019

Esse resultado indica que a água dos poços P1, P2, P3, P7 e P8 analisados pode ter sido contaminada com a matéria orgânica decomposta de fossa situada próxima ao poço, sendo considerada iminente a contaminação nos casos dos poços P5 e P6.

Altas concentrações de amônio nas águas pode ser um indício de formação do íon nitrato em ambientes oxidantes aumentando, consideravelmente, a concentração deste último (GASPAR, 2001; CABRAL, 2007).

A portaria n° 2.914/2011/MS não estabelece valor de referência para o íon  $\text{NH}_4^+$ , mas estabelece VMP de 1,5 mg/L para amônia ( $\text{NH}_3$ ), que se tratando de nitrogênio amoniacal nas condições das amostras analisadas (pH e Temperatura), tem representação intercambiável, portanto, pode-se considerar o VMP para  $\text{NH}_4^+$  de 1,5 mg/L.

A Figura 5 apresenta a amostra P6 em detecção de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), onde deveria apresentar uma coloração amarelo clara mesmo em concentrações acima do permitido.

Figura 3- Determinação do amônio em laboratório



Fonte: Autoria própria, 2019

### 5.1.5 Nitrato

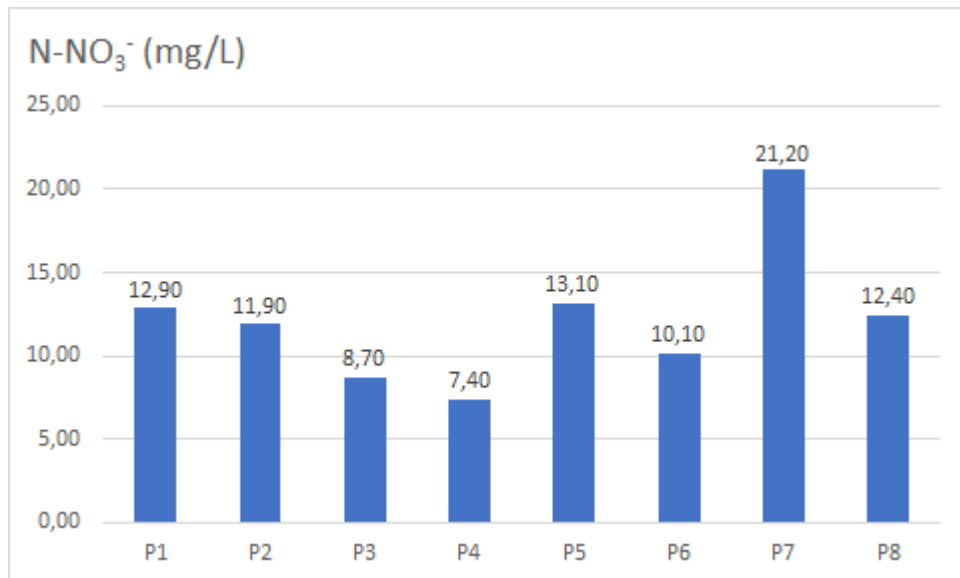
O nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é a forma mais estável do ciclo do nitrogênio em condições aeróbicas e sua origem no ambiente aquático superficial e subterrâneo, provém predominantemente da decomposição da matéria orgânica proveniente de fossas sépticas, lixões, esgotos não tratados, etc. (MELO JUNIOR, 2003).

Em elevadas concentrações, o nitrato está adjunto à doença da metahemoglobinemia (cianose) ou síndrome do bebê azul, que dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea de bebês podendo acarretar a asfixia. Em adultos, a atividade metabólica interna impede a conversão do nitrato em nitrito, que é o agente responsável por essa enfermidade (DANIEL, 2008). O nitrato apresenta alta mobilidade e persistência nas águas subterrâneas, constituindo

um forte indicador de contaminação e, em determinadas condições pode produzir nitrosaminas e nitrosamidas, substâncias cancerígenas (CASTRO, 2014).

Segundo Daniel (2008), concentrações maiores que 10 mg/L de nitrato, expresso como nitrogênio ( $\text{N-NO}_3^-$ ), podem ser fatais para crianças com idades inferiores a seis meses. Conforme o Gráfico 5, dos valores de nitrato obtidos nas análises, apenas os poços P3 e P4 estão em conformidade com a portaria n° 2.914/2011/MS que estabelece o VMP de 10 mg/L  $\text{N-NO}_3^-$ , para abastecimento humano. A Figura 6 mostra a detecção do nitrato na amostra P7.

Gráfico 5- Comparação das amostras em nitrato



**Fonte:** Autoria própria, 2019

Figura 4- Determinação do nitrato em laboratório de P7



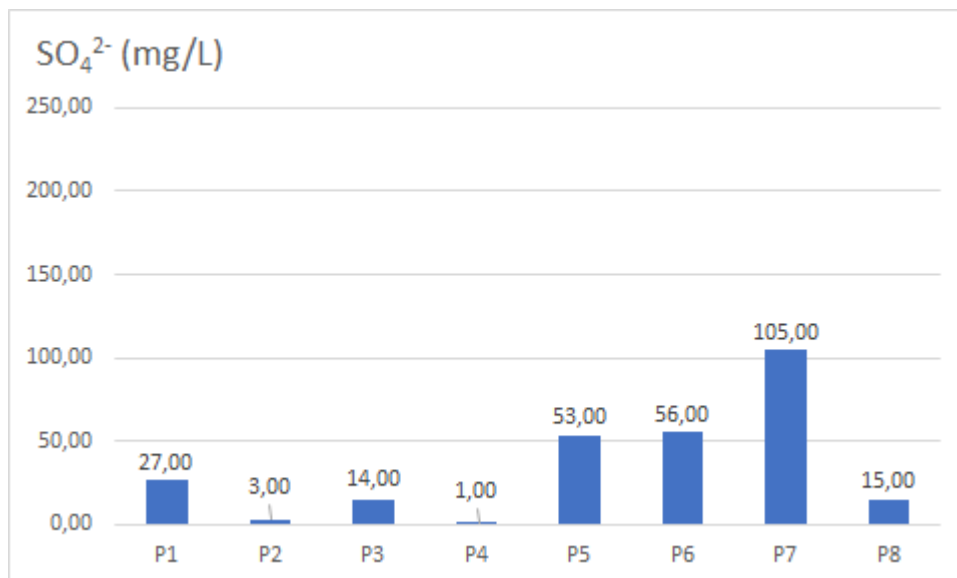
**Fonte:** Autoria própria, 2019

### 5.1.6 Sulfato

Origina-se da oxidação do enxofre presente nas rochas e da lixiviação de compostos sulfatados. Seu controle nas águas de abastecimento é importante devido ao mesmo provocar efeito laxativo (FEITOSA et al., 2008).

Em geral, as concentrações de sulfato nas águas naturais variam de 2 a 80 mg/L e em áreas próximas de descargas industriais pode chegar a 1000 mg/L (PIVELI; KATO, 2006). Conforme o Gráfico 6, todos os poços analisados estão em conformidade com a portaria n° 2.914/2011/MS e a resolução CONAMA n° 396/2008, que estabelecem à concentração máxima para água de consumo 250 mg/L de  $\text{SO}_4^{2-}$ . Vale ressaltar um pico de concentração acima da média na amostra do poço P7, fato a ser considerado como um possível indicativo de contaminação.

Gráfico 6- Comparação das amostras em sulfato



Fonte: Autoria própria, 2019

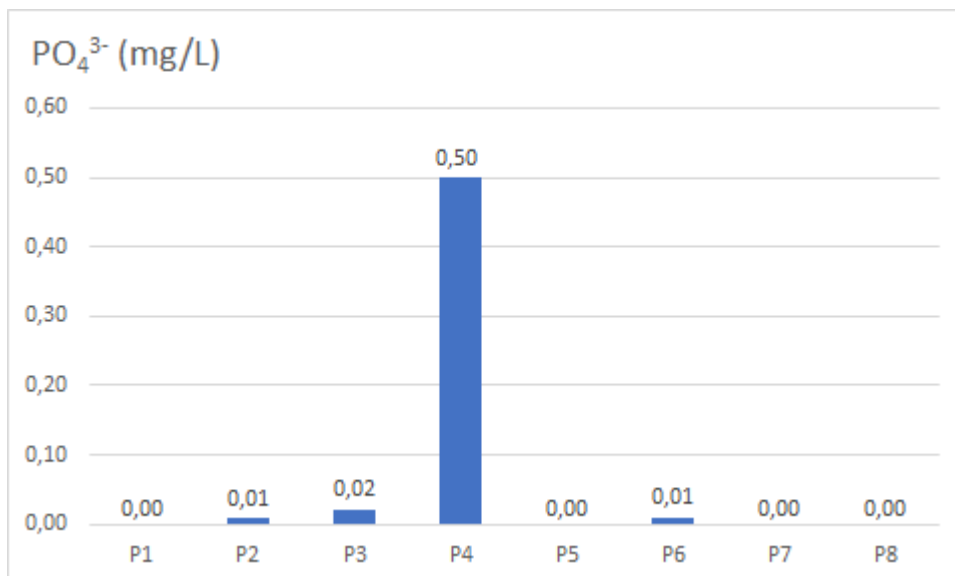
### 5.1.7 Fosfato

O fósforo aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. A matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte (CETESB, 2016). Ainda segundo CETESB (2016), pode apresentar-se na água sob as formas de fosfatos orgânicos, ortofosfatos e os polifosfatos. Sendo os ortofosfatos a forma mais importante nos estudos de qualidade das águas.

Assim como o nitrogênio, o fósforo constitui-se em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, ou seja, é um dos chamados macro-nutrientes. Ainda por ser nutriente para processos biológicos, o excesso de fósforo em esgotos sanitários conduz a processos de eutrofização das águas naturais, fenômeno o qual, tem como efeito nas águas o crescimento acelerado da vegetação, toxidade das algas, mortalidade de peixes e condições anaeróbicas.

Observa-se no Gráfico 7, detecção de  $\text{PO}_4^{3-}$  nos poços P2, P3, P4 e P6, sendo o valor mais alto e além do permitido o de P4 com 0,50 mg/L. Os demais poços apresentaram concentrações de acordo com o VMP, estipulado na resolução n° 357 (2005) – CONAMA, classe 1 – água doce, que estabelece valor máximo para ambiente lântico: 0,02 mg/L P. A portaria de n° 2.914/2011/ MS não estabelece VMP de potabilidade para este parâmetro.

Gráfico 7- Comparação das amostras em fosfato



Fonte: Autoria própria, 2019

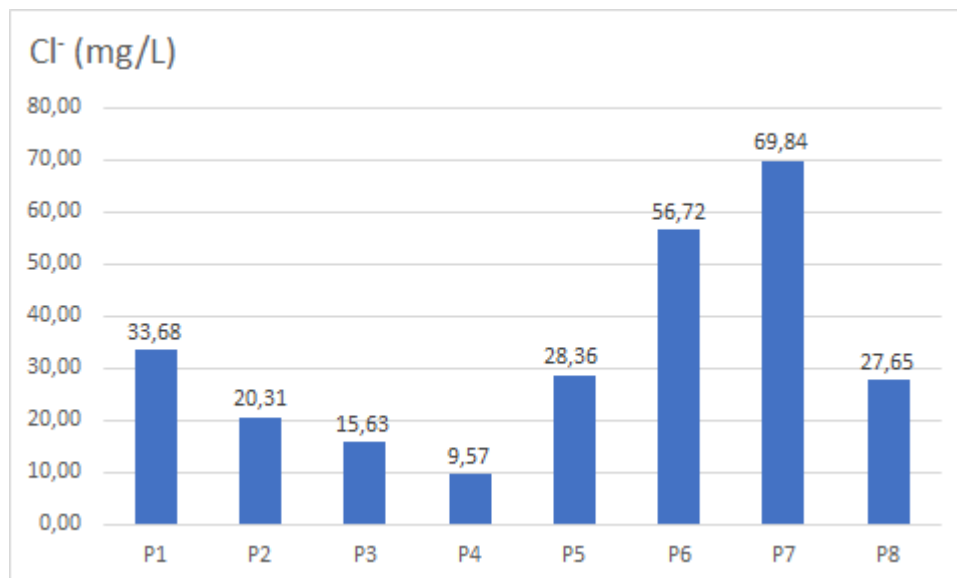
### 5.1.8 Cloreto

Segundo CETESB (2016), o cloreto é o ânion  $\text{Cl}^-$  que se apresenta nas águas subterrâneas. Nas águas superficiais, são importantes fontes de cloreto as descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca 4g de cloreto por dia, que representam cerca de 90 a 95% dos excretos humanos. Tais quantias fazem com que os esgotos apresentem concentrações de cloreto que ultrapassam 15 mg/L.

Segundo a portaria nº 2.914/2011/MS do MS e a resolução CONAMA nº 396/2008, os valores de cloreto obtidos nas análises, não ultrapassaram o valor máximo permitido destinado ao abastecimento humano (250 mg/L). Concentrações acima de 250 mg/L podem ocasionar sabor desagradável as águas de consumo.

Conforme o Gráfico 8, todas as análises atendem aos parâmetros vigentes, ressaltando as amostras P6 e P7, que apresentaram picos de concentração de  $\text{Cl}^-$  acima da média, esta situação pode ser considerada como um indicativo de contaminação por esgoto sanitário de fossas nas proximidades.

Gráfico 8- Comparação das amostras em cloreto



**Fonte:** Autoria própria, 2019

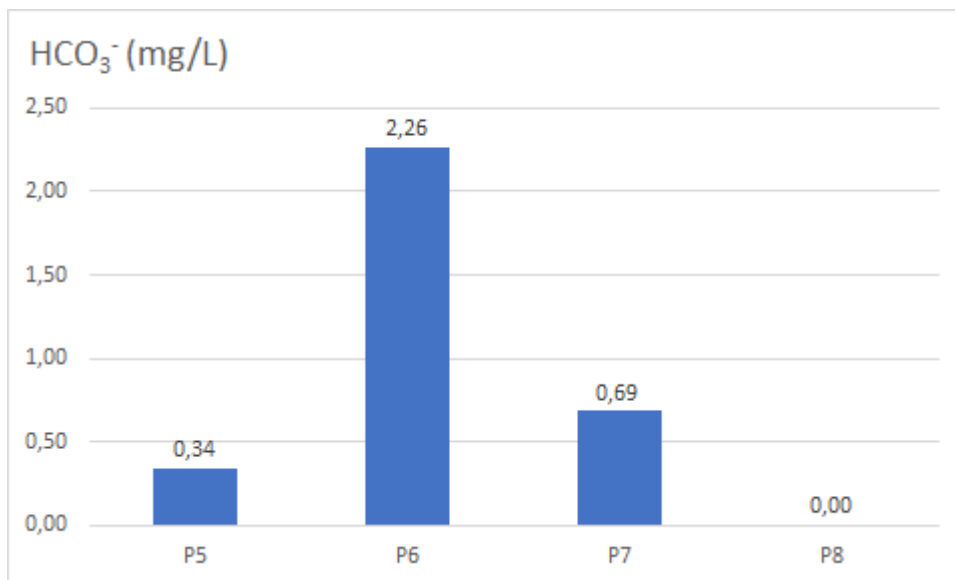
### 5.1.9 Bicarbonato

De acordo com CETESB (2016), a degradação da matéria orgânica e a dissolução de carbonatos são as principais fontes de bicarbonatos nas águas subterrâneas. Altas concentrações de  $\text{HCO}_3^-$  ainda podem indicar altas concentrações de alcalinidade e dureza. As equações (2) e (3) apresentadas a seguir representam a liberação de dióxido de carbono, através da degradação da matéria orgânica, na geração de bicarbonato:



A portaria nº 2.914/2011/MS, não constitui padrão de potabilidade para o bicarbonato. Como mostra o Gráfico 9, apenas os poços P5, P6 e P7 apresentaram valores expressivos de  $\text{HCO}_3^-$ .

Gráfico 9- Comparação das amostras em bicarbonato



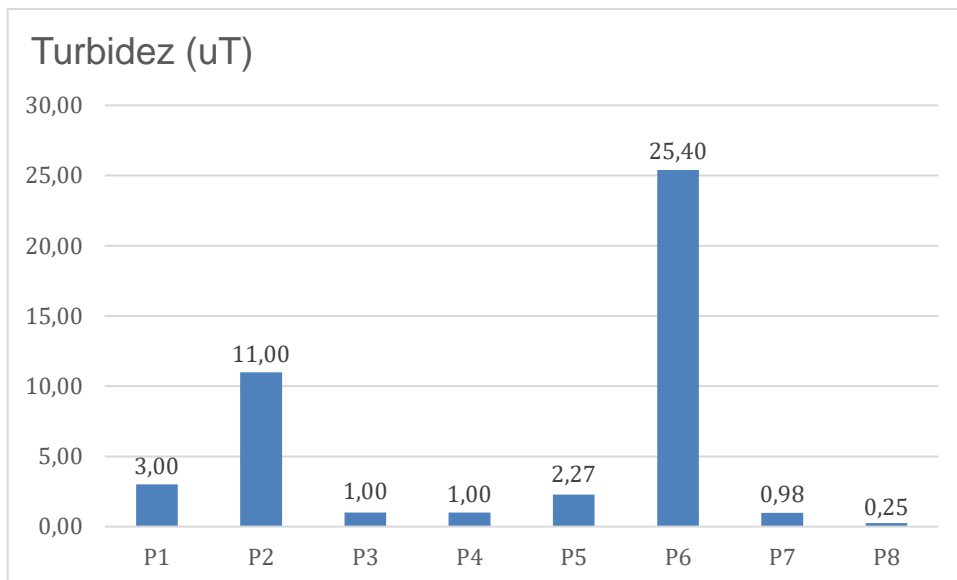
**Fonte:** Autoria própria, 2019

### 5.1.10 Turbidez

É o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (esta redução dá-se por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton em geral etc (CETESB, 2016).

A portaria nº 2.914/2011/MS estipula VMP para água de consumo de 5 uT. Segundo o Gráfico 10, as amostras P2 e P6 apresentaram seus valores além do permitido pela legislação vigente, as demais apresentam valores satisfatórios.

Gráfico 10- Comparação das amostras em turbidez



**Fonte:** Autoria própria, 2019

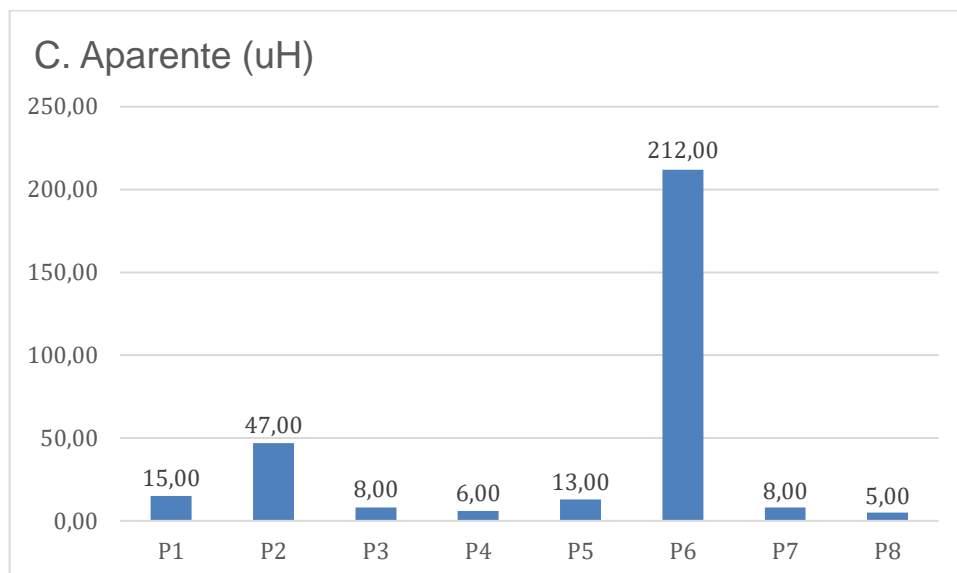


### 5.1.11 Cor aparente

Segundo CETESB (2016), cor aparente de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico, substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos. Há também compostos inorgânicos capazes de causar cor na água. Os principais são os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes em diversos tipos de solo. Alguns outros metais presentes em efluentes industriais conferem-lhes cor, mas, em geral, íons dissolvidos pouco ou quase nada interferem na passagem da luz.

A portaria nº 2.914/2011/MS estabelece para consumo humano o VMP de 15 uH. Como apresenta o Gráfico 11, as amostras que ultrapassaram o VMP foram P2 e P6, sendo extremo o valor apresentado por P6. Este resultado está associado com o teor mais significativo da turbidez desta amostra, pois segundo Paludo (2010), o termo “cor aparente” inclui não só substâncias em solução, mas também à matéria em suspensão.

Gráfico 11- Comparação das amostras em cor aparente



**Fonte:** Autoria própria, 2019

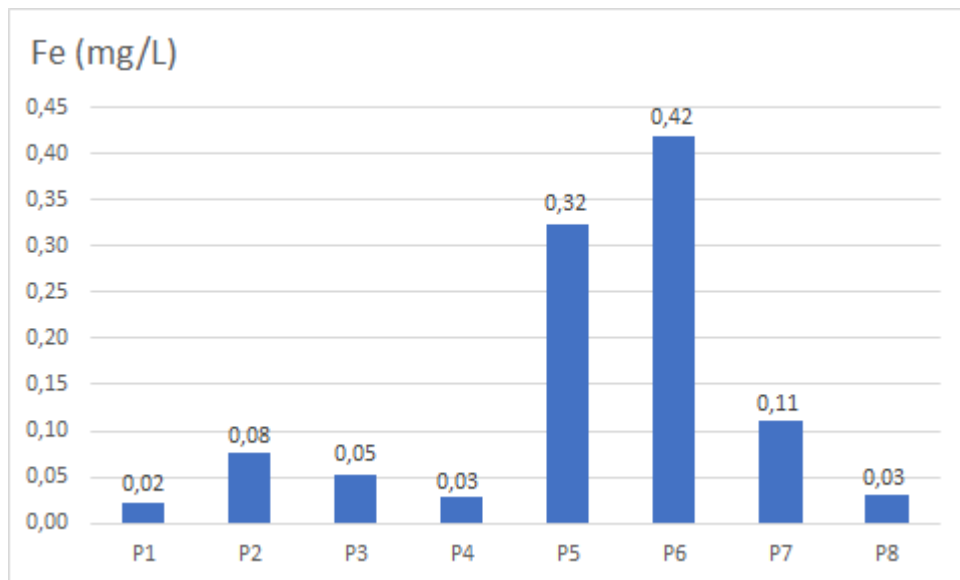
### 5.1.12 Ferro total

Nas águas naturais o ferro apresenta-se nas formas  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$  e, sua presença nas águas subterrâneas é proveniente principalmente da dissolução do minério pelo gás carbônico da água, segundo a reação mostrada na equação (4) (PIVELI; KATO, 2006):



O ferro, apesar de não se constituir em um tóxico, traz diversos problemas para o abastecimento público de água. Confere cor e sabor à água, provocando manchas em roupas e utensílios sanitários. Também traz o problema do desenvolvimento de depósitos em canalizações e de ferro-bactérias, provocando a contaminação biológica da água na própria rede de distribuição (PALUDO, 2010). Por estes motivos, o ferro constitui-se em padrão de potabilidade, a concentração limite de 0,3 mg/L na portaria n° 2.914/2011/MS. Observa-se no gráfico (Gráfico 12) apenas os poços P5 e P6 com valores além do VMP em questão.

Gráfico 12- Comparação das amostras em ferro total



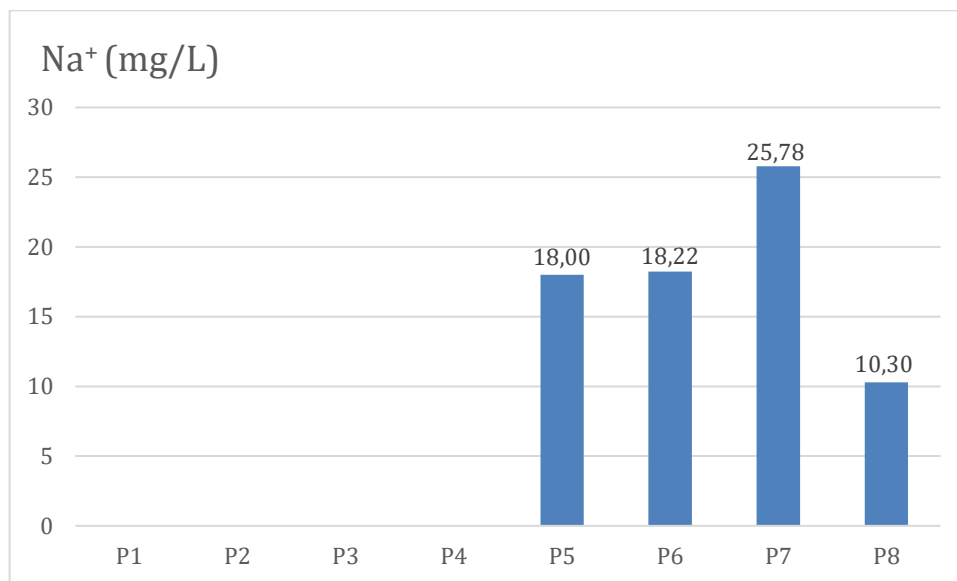
**Fonte:** Autoria própria, 2019

### 5.1.13 Sódio

Segundo CETESB (2016), é um dos metais alcalinos em maior concentração nas águas subterrâneas devido sua distribuição nos minerais fontes, baixa estabilidade dos minerais, solubilidade elevada e difícil precipitação, encontrando-se na forma iônica ( $\text{Na}^+$ ).

Altas concentrações de sódio podem ser provenientes de lançamentos de esgotos domésticos, efluentes industriais, além de intrusão de águas marinhas em áreas litorâneas (CETESB, 2016). De acordo com a portaria nº 2.914/2011/MS, o VMP para o consumo humano é de 200 mg/L. As concentrações de sódio obtidas nas análises não ultrapassaram este valor máximo. Águas com teores acima do VMP adquirem sabor não aceitável para consumo humano.

Gráfico 13- Comparação das amostras em sódio



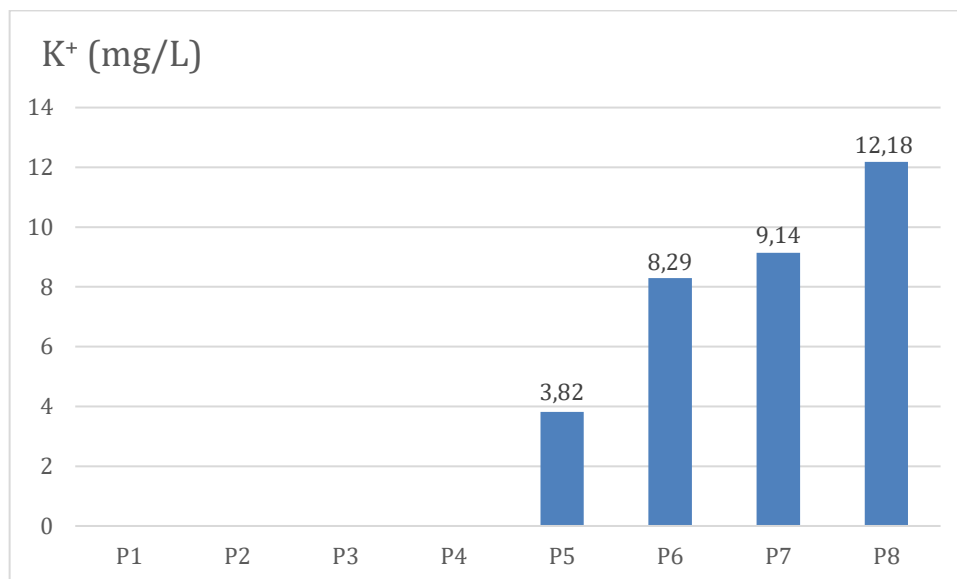
**Fonte:** Autoria própria, 2019

Os resultados referentes as amostras P1, P2, P3 e P4 das análises dos íons **sódio**, **potássio**, **cálcio** e **magnésio** foram perdidas devido a erro do equipamento. Vale atentar que a ausência dos mesmos não interfere no resultado final e nas conclusões deste trabalho.

#### 5.1.14 Potássio

Nas águas naturais encontra-se geralmente em baixas concentrações (<10 mg/L) proveniente do solo e das rochas. Seus compostos são altamente solúveis podendo, ainda, ser incorporado às águas através das descargas industriais e de áreas agrícolas (CETESB, 2016). A portaria n° 2.914/2011/MS não estabelece VMP de potássio às águas destinadas ao consumo humano.

Gráfico 14- Comparação das amostras em potássio

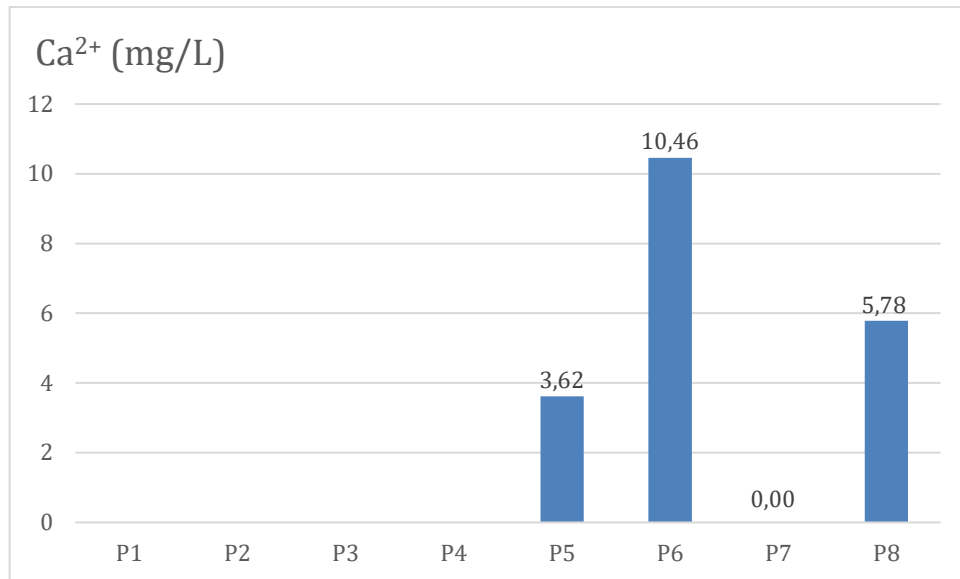


**Fonte:** Autoria própria, 2019

#### 5.1.15 Cálcio

O cálcio é um dos metais alcalinos terrosos mais abundantes na crosta terrestre, e nas águas superficiais e subterrâneas junto com o magnésio constituem os principais íons que dão origem a dureza das águas. Sua concentração é definida pelo equilíbrio  $\text{CO}_2 - \text{CaCO}_3$ . Nas águas onde há presença de  $\text{CO}_2$ , o carbonato de cálcio se decompõe e forma o íon bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ). A portaria n° 2.914/2011/MS não determina valores de cálcio para água destinada ao consumo humano.

Gráfico 15- Comparação das amostras em cálcio

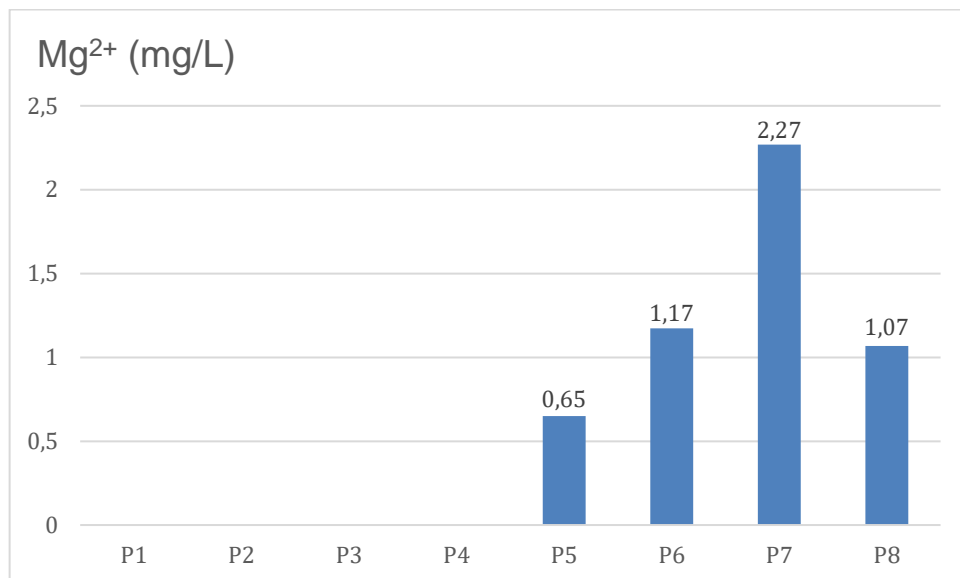


**Fonte:** Autoria própria, 2019

#### 5.1.16 Magnésio

Apresenta características semelhantes ao cálcio, porém é mais difícil de precipitar, ocorrendo em geral em rochas calcárias na forma de bicarbonato. A portaria n° 2.914/2011/MS, não estipula valor de referência para este parâmetro.

Gráfico 16- Comparação das amostras em magnésio



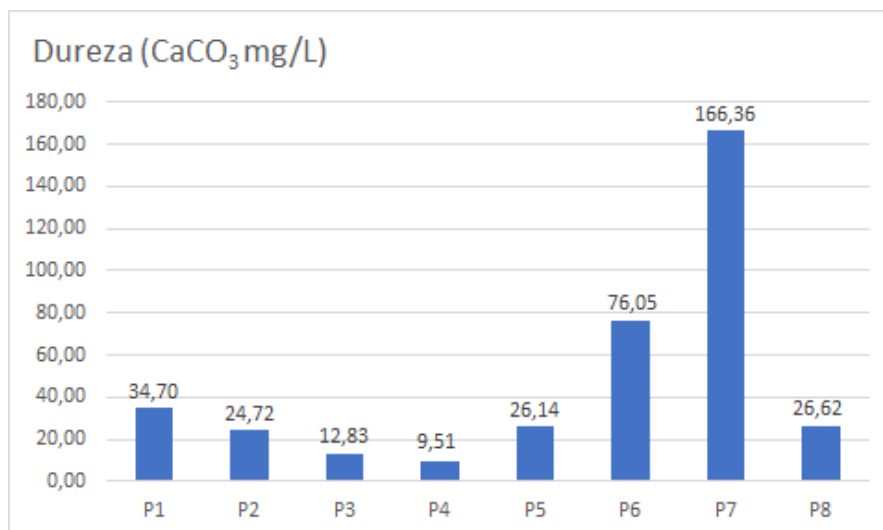
**Fonte:** Autoria própria, 2019

### 5.1.17 Dureza total

A fonte de dureza nas águas é proveniente, principalmente, da dissolução das rochas calcárias pelo  $\text{CO}_2$  da água, sendo mais frequente em águas subterrâneas que em águas superficiais (PIVELI; KATO, 2006). Em geral, pode-se compreendê-la como poder de consumo de sabão pela água ou capacidade da água neutralizar o sabão devido à ação do cálcio, magnésio ou outros elementos como ferro, manganês, entre outros. Segundo Von Sperling (1996), águas de elevada dureza possui efeitos laxativos e sabor desagradável.

Conforme o gráfico (Gráfico 17), águas dos poços estudados estão de acordo com a portaria n° 2.914/2011/MS que estabelece um VMP de dureza total para água de consumo de 500 mg/L  $\text{CaCO}_3$ .

Gráfico 17- Comparação das amostras em dureza

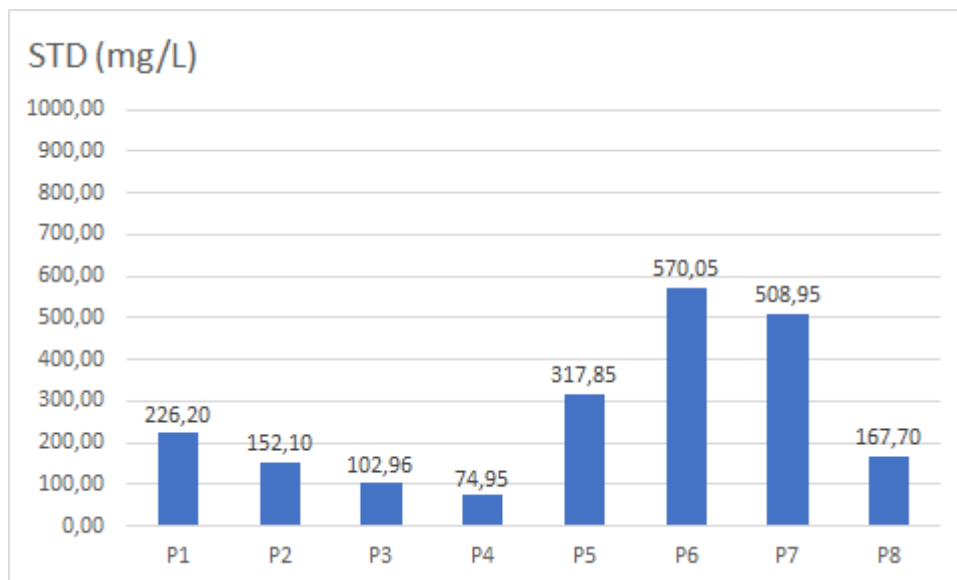


Fonte: Autoria própria, 2019

### 5.1.18 Sólidos totais dissolvidos

Nas águas de abastecimento, em geral, os sólidos ocorrem na forma dissolvida, constituídos principalmente de sais inorgânicos e em menor quantidade de matéria orgânica. Os valores de STD obtidos das amostras apresentaram-se relativamente abaixo do VMP recomendado pela portaria n° 2.914/2011/MS para consumo (1000 mg/L), assim como, a resolução CONAMA n° 396/2008 que estabelece o mesmo VMP. Conforme o gráfico (Gráfico 18), vale ressaltar as amostras P5, P6 e P7, por apresentarem valores acima da média, o que pode ser considerado um indício de contaminação.

Gráfico 18- Comparação das amostras em sólidos totais dissolvidos



**Fonte:** Autoria própria, 2019

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Levando-se em consideração o objetivo principal da execução do presente trabalho, o da averiguação da qualidade de padrões hidroquímicos de potabilidade e fatores de contaminação em determinados poços semi-artesianos no bairro Icuí-Guajará, cabe destacar que todos os poços analisados apresentaram dados físico-químicos fora dos padrões estabelecidos pela Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 e a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Observou-se ainda que os resultados das análises apresentam fortes indícios de contaminação por esgoto sanitário, devido à presença de concentrações elevadas de substâncias originadas da decomposição de matéria orgânica.

Os parâmetros hidroquímicos analisados mostram que as águas estudadas são ácidas, com pH na ordem de 3,85 a 6,25, sendo que seis (75%) das amostras não atendem aos padrões estabelecidos pelas portarias vigentes. Das oito amostras analisadas, todas ultrapassaram o VMP em algum parâmetro analisado. Com relação a concentração do íon  $\text{NH}_4^+$ , sete das amostras (87,5%) ultrapassaram o VMP e com relação ao  $\text{N-NO}_3^-$ , seis das amostras (75%) se encontram fora do VMP, impossibilitando a utilização ao consumo humano dessas águas. Os poços que apresentaram altas concentrações de  $\text{NH}_4^+$ , evidenciam a forte influência nestes poços por efluente de fossa séptica. Cabe destacar que a presença de amônio na água pode aumentar as concentrações de nitrato com o passar do tempo através do processo de nitrificação.

Os gráficos revelaram parâmetros com valores anômalos. Em alguns poços da área estudada os teores de turbidez, cor aparente, dureza total, alcalinidade total, Fe,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , apresentam picos de concentração, mesmo sendo de teores abaixo do VMP pela Portaria nº 2.914/2011/MS e a Resolução nº 357/2005/COAMA, variando consideravelmente entre si, representando porém, indícios de matéria orgânica decomposta na área de estudo.

Esse estudo mostrou que a exploração do aquífero freático da região não é adequada, a falta de critérios técnicos na construção dos poços semi-artesianos, assim como na construção de fossas sépticas em solo com alta porosidade e infiltração, cria uma relação perigosa entre ambos, por este motivo, os poços apresentam fortes indícios de contaminação por fossas sépticas. Esta situação indica que o consumo dessas águas, pode acarretar problemas à saúde da população.



O estudo também é concluído como um trabalho prévio, de cunho qualitativo e quantitativo de parâmetros que representam risco a saúde, sendo um possível precedente de novos trabalhos e pesquisas cada vez mais completos e detalhados sobre o aquífero da região onde o campus Ananindeua – UFPA se faz presente.

Os resultados obtidos apontam à necessidade de mais estudos relacionados ao controle da qualidade das águas da região, onde as informações sobre os riscos que o consumo humano dessas águas possui são desconhecidas. Também mostram que são necessárias ações voltadas a melhorias na forma da disposição de efluentes sanitários e domésticos, e conscientização dos perigos buscando minimizar os efeitos na qualidade das águas subterrâneas que atualmente são destinadas ao consumo humano.

## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nesse estudo, algumas sugestões de trabalhos futuros podem ser levantadas, tais como:

- Realizar estudo bacteriológico qualitativo e/ou quantitativo nas águas da região.
- Caracterizar a água do local por íons predominantes utilizando diagrama de Piper.
- Caracterizar a água do local por contaminantes em maior concentração durante o ciclo de período chuvoso, transição e menos chuvoso.
- Estudo de compostos amoniacais em efluentes nas circunvizinhanças da área.
- Estudo de relação entre as diferentes concentrações de amônio, amônia e nitrato nas águas da região.
- Caracterização dos riscos comuns a contaminação das águas subterrâneas rasas da região.
- Identificação e classificação das zonas com os poços de maior risco a saúde.
- Estudo sobre as características referentes ao potencial hidrogeniônico da região em tentativa de compreender as variações de pH em áreas próximas.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. 2018. Disponível em <http://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf>

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th. Washington, DC: APHA, 1998.

AMARAL, L. A. et al. **Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais**. Rev. Saúde Pública, vol. 37 n. 4. p 510-514. agosto 2003.

AYACH, L.R. et al. **Qualidade da água e percepção ambiental: Reflexões sobre a realidade urbana de Anastácio (MS)**. REVISTA GEONORTE, Edição Especial, V.3, N.4, p. 1255-1267, 2012.

BASTOS, Mariana Lopes. **Caracterização da qualidade da água subterrânea – Estudo de caso no município de Cruz das Almas -Bahia**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas. 2013. f 78.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 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: República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, nº 53, 2005. Seção 1, p. 58-63**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 16 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo,**

Brasília, DF, 2011. Seção 1, p. 39-46. Disponível em: <[http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)>. Acesso em: 16 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. Fundação Nacional de Saúde. **Manual Prático de Análise de Água**. Brasília: Funasa, 2013. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/manual\\_pratico\\_de\\_analise\\_de\\_agua\\_2.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2019.

\_\_\_\_\_. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle de qualidade da água para técnicos que trabalham em ETEAS**. Brasília: Funasa, 2014. Disponível em: <[http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/manualcont\\_quali\\_agua\\_tecnicos\\_trab\\_emetas.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2019.

CABRAL, N. M. T. **Impacto da urbanização na qualidade das águas subterrâneas nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA**. Tese (Doutorado em Geologia) - Centro de Geociências, Departamento de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2004. 289f.

CABRAL, N. M. T.; LIMA, L. M. Comportamento hidrogeoquímico das águas do aquífero Barreiras nos bairros centrais de Belém. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, Belém, 2006, **1**(1), p. 149-166.

CABRAL, N. M. T. **Teores de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) nas águas do aquífero Barreiras nos bairros do reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA**. Química. Nova, vol. 30, N. 8, 1804-1808, 2007.

CAMPOS, T.S.; ROHLFS, D.B. 2010. **Avaliação dos valores de nitrato em águas subterrâneas e sua correlação com atividades antrópicas no município de Águas Lindas**

**de Goiás/GO.** Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Biociências Forenses, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2010.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo, Série Relatórios:** Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem (Apêndice E). São Paulo: CETESB, 2016.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M.R. **Hidrologia subterrânea.** Barcelona: Ediciones Omega, 1976. v. 1. 1157p.

DANIEL, M. H. B. **Caracterização do perfil do nitrato na água para consumo humano do município de Natal-RN no ano de 2007.** Monografia (especialização) -Universidade de Brasília. 2008.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** 3 ed. Brasil: CPRM, 2008.

FEITOSA, A. C. F.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações.** CPRM, Fortaleza: Editora Gráfica LCR, 1997.

GASPAR, M, T. P. **Avaliação dos impactos da ocupação urbana sobre as águas da bacia hidrográfica do igarapé Mata Fome, Belém-PA.** Dissertação (Mestrado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001. 112f.

IRITANI, Mara Akie; EZAKI, Sibebe. **As águas subterrâneas no estado de São Paulo. São Paulo** - Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA, 2008.

MAPA DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM; ANANINDEUA: **Mapa Geológico**. Mapa Geológico - Folha Belém - SA.22-X-D-III CPRM. 2010. Escala 1:100.000.

MATTA M.A.S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. 2002. Tese (Doutorado em Geologia) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002. 292f.

MELO JUNIOR, G. **Curso de pré-congresso: poluição química de águas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA. Belém. Anais... Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Departamento de Geologia, 9, 2003, 141f.

MENEZES, J. P. C. et al. Relações entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Eng Sanit Ambient**. Mato Grosso, n.3, jul/set, 2016, p 519-534. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v21n3/1809-4457-esa-21-03-00519.pdf>>. Acesso em: 9 jun. 2019.

MORAES, P. B. ST 502, tratamento biológico de efluentes líquidos, ST 503, tratamento físico-químico de efluentes líquidos. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2008.

OLIVEIRA, Daniela Alves. **Avaliação do teor de Ferro em Águas Subterrâneas de Alguns Poços Tubulares, no Plano Diretor de Palmas- TO**. [200-]. Disponível em< <http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/gilda.pdf>> Acesso em: junho de 2019.

PALUDO, Diego. **Qualidade da água nos poços artesianos do município de Santa Clara do Sul**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Química Industrial - UNIVATES, Lajeado, 2010. 75f.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2006. 285f.

REIS, J.A.T.; MENDONÇA, A.S.F. **Teores limites para compostos amoniacais em efluentes e corpos receptores – conflitos e inter-relações.** 1995. Net, Cuiabá, abr. 2012. Disponível em: <[www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/teorias.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/teorias.pdf)>. Acesso em: 24 de junho. 2019.

RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública.** 2010. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Especialização em Análise Ambiental - UFJF, Juiz de Fora, 2010. 36f

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.