



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS PARNAÍBA CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

RHUAN LUCAS DO NASCIMENTO MELO

**ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DAS ÁGUAS DE POÇOS
ARTESIANOS DA LOCALIDADE CACIMBÃO DO MUNICÍPIO DE PARNAÍBA – PI**

**PARNAÍBA
2018**

RHUAN LUCAS DO NASCIMENTO MELO

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DAS ÁGUAS DE POÇOS
ARTESIANOS DA LOCALIDADE CACIMBÃO DO MUNICÍPIO DE PARNAÍBA – PI

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial de obtenção
do diploma do Curso de Licenciatura em Química
do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí. *Campus*
Parnaíba.

Orientadora: Profa. Dra. Marcia Valéria Silva
Lima

PARNAÍBA
2018

M528 a	Melo, Rhuan Lucas do Nascimento Análise físico-química e microbiológica das águas de poços artesianos da localidade Cacimbão do município de Parnaíba - PI / Rhuan Lucas do Nascimento Melo - 2018. 58 f. : il. color. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Parnaíba, Licenciatura em Química, 2018. Orientadora : Profa Dra. Márcia Valéria Silva Lima. 1. Água subterrânea. 2. Caracterização físico-química. 3. Análise microbiológica. I.Título.
	CDD 540

RHUAN LUCAS DO NASCIMENTO MELO

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DAS ÁGUAS DE POÇOS
ARTESIANOS DA LOCALIDADE CACIMBÃO DO MUNICÍPIO DE PARNAÍBA – PI

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial de obtenção
do diploma do Curso de Licenciatura em Química
do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí. *Campus*
Parnaíba.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Marcia Valéria Silva Lima (Orientadora)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Taiane Maria de Oliveira
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Profa. Dra. Ana Maria Athayde Uchôa
Instituição Federal do Piauí (IFPI)

Dedico esse trabalho aos meus pais, Luiz Carlos e Marli Melo, a quem devo a vida assim como minha formação moral. Meu reconhecimento e gratidão pela paciência, compreensão, incentivos e principalmente apoio para que eu chegasse onde estou.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, pelas bênçãos de estar vivo e me protegendo durante minha jornada guiando-me para que pudesse chegar até esse momento.

A minha família pelo apoio constante tanto financeiro como motivacional, pois foi minha inspiração para chegar até esse momento.

A minha esposa Adnaia Firmino Santos pela compreensão e companheirismo nos momentos mais difíceis de minha jornada, principalmente naqueles em que veio à cabeça trancar minha matrícula no curso para ir à busca de emprego.

A professora Dra. Márcia Valéria Silva Lima pela orientação, compreensão, apoio para a realização desse trabalho e exemplo de dedicação e amor pela profissão.

A todos os professores do IFPI Campus Parnaíba pelos aprendizados e acima de tudo, exemplo de dedicação à docência, em especial a professora Dra. Ana Maria Athayde Uchôa pelas suas orientações e auxílio para concretização do presente trabalho.

Ao Instituto Federal Campus Parnaíba pela minha formação e a Universidade Federal do Piauí pelas análises feitas para o presente trabalho.

Aos meus colegas e amigos Edson Aires, Francisco Felipe, Danilo Franco, Luciane Pereira, Jonas Nascimento e Tomaz Xavier pelo incentivo e apoio na escolha do tema, e na execução desse trabalho.

A Taiane Maria de Oliveira pela ajuda, disposição e orientação na realização das análises para o presente trabalho.

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido e não na vitória propriamente dita. ”

Mahatma Gandhi

RESUMO

A água é um elemento vital para o homem tanto para suas necessidades fisiológicas quanto para sua higiene, entre outras finalidades. O Brasil é um país rico quando se trata de recursos hídricos, uma vez que o mesmo apresenta aproximadamente 10% de toda a água doce do mundo. Muitas cidades do Brasil destacam-se pela sua riqueza hídrica, e dentre as diversas cidades, se sobressai o município de Parnaíba, o qual é rico no que se refere à hidrografia, tanto em relação às águas superficiais quanto as subterrâneas. O presente estudo foi desenvolvido visando à análise físico-química e microbiológica da água de poços artesianos utilizada como fonte alternativa de abastecimento pela população da localidade Cacimão, Parnaíba-Piauí. Para a caracterização físico-química foram realizados os parâmetros: pH, Alcalinidade, Turbidez, Cor, Ferro, Amônia e Cloretos. As análises Microbiológicas realizadas foram Coliformes Totais e Termotolerantes (*Escherichia coli*). Os parâmetros físico-químicos foram obtidos a partir de técnicas colorimétricas, utilizando um kit de potabilidade para a determinação das análises. Já as análises microbiológicas foram obtidas através de diluições da amostra e contagem de colônias cultivadas pelo método *Pour Plate*. Tanto as análises físico-químicas e microbiológicas mostraram que as águas dos poços artesianos estudados encontram-se de acordo com os limites estabelecidos pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (MS). Esses resultados são importantes uma vez que às águas subterrâneas analisadas são fontes alternativas de água para diversas famílias da localidade Cacimão, Parnaíba-Piauí.

Palavras-chave: Água subterrânea; Caracterização físico-química; Análise microbiológica.

ABSTRACT

Water is a vital element for man both for his physiological needs and for his hygiene, among other purposes. Brazil is a rich country when it comes to water resources, since it presents approximately 10% of all the fresh water in the world. Many cities in Brazil stand out for their water richness, and among the several cities, stands the municipality of Parnaíba, which is rich in hydrography, both in relation to surface water and underground. The present study was developed aiming at the physicochemical and microbiological analysis of artesian well water used as an alternative source of supply by the population of Cacimão, Parnaíba-Piauí. For the physicochemical characterization, the parameters were: pH, Alkalinity, Turbidity, Color, Iron, Ammonia, Chlorides. Microbiological analyzes were performed with total and thermotolerant coliforms (*Escherichia coli*). The physico-chemical parameters were obtained from colorimetric techniques, using a potability kit for the determination of the analyzes. Microbiological analyzes were obtained through sample dilutions and counts of colonies cultured by the Pour Plate method. Both the physical-chemical and microbiological analyzes showed that the waters of the artesian wells studied are in accordance with the limits established by Ordinance 518/2004 of the Ministry of Health (MH). These results are important since the groundwater analyzed is an alternative source of water for several families in the Cacimão, Parnaíba-Piauí locality.

Keywords: Groundwater; Physical-chemical characterization; Microbiological analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo hidrológico	17
Figura 2 - Tipos de aquíferos segundo a formação rochosa.	18
Figura 3 - Tipos de aquíferos segundo a superfície superior.....	19
Figura 4 - Unidades hidrolíticas do Piauí.	21
Figura 5 - Sonda percussora	25
Figura 6 – Entrada da Comunidade Cacimão	37
Figura 7 - Pontos de coleta de água dos poços artesianos.	38
Figura 8 - Análise de alcalinidade em: a) aplicação da fenolftaleína; b) indicador misto; c) ponto final da titulação.	42
Figura 9 - Cores apresentadas pela amostra durante análise de cloretos em; a) com cromato de potássio e b) ao final da titulação com nitrato de prata.	43
Figura 10 - Método de tubos múltiplos	44
Figura 11 – (a) Tubo positivo contendo CLT (<i>Caldo Lauril Triptosado</i>) e (b) Tubo positivo contendo Meio VB (<i>Caldo Verde Brilhante</i>).	50
Figura 12 - Placas PCA para os pontos analisados, contagem de colônias: (a) ponto 1; (b) Ponto 2 e (c) Ponto 3.	51
Figura 13 – Poço artesiano correspondente ao ponto 2.	52
 Quadro 1 - Relação entre pH e as diversas formas de alcalinidade.....	30
Quadro 2 - Coordenadas dos pontos de coleta.....	39
Quadro 3 - Métodos para análises dos parâmetros físicos	39
Quadro 4 - Métodos de análise dos parâmetros químicos	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais microrganismos patogênicos que podem estar presentes na água.	33
Tabela 2- Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano. .	34
Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos para as águas dos poços artesianos	47
Tabela 4 - Tubos positivos e o NMP de coliformes totais.	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C – antes de Cristo ANA -

Agência Nacional de Águas

BIOTEC - Núcleo de Pesquisa em Biodiversidade e Biotecnologia

CLT – *Caldo Lauril Triptosado*

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

EC – *Caldo Escherichia Coli*

Km² – quilômetros quadrados

Km³ - quilômetros cúbicos mg.

L⁻¹ – miligramas por litro m³/h –

metros cúbicos por hora NMP

– Número Mais Provável

NTU – Unidades Nefelométricas

PCA – *Plate Count Agar* pH –

potencial hidrogeniônico ppm –

parte por milhão SAU – Sistema

Aquifero Urucuia

SAPP – Sistema Aquifero Poti-Piauí

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

SGB – Serviço Geológico do Brasil

UFC – Unidade Formadora de Colônia

VB - *Caldo Verde Brilhante*

Vg – Volume gasto

VMP – Valor máximo permitido

LISTA DE SIMBOLOS

$^{\circ}\text{C}$ – Graus Célsius

∞ - Infinito

% - Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA	16
2.1.1 Ciclo hidrológico	16
2.2 AQUIFERO	17
2.2.1 Unidades aquíferas e poços do Piauí	20
2.2.2 Águas subterrâneas	22
2.3 POÇOS ARTESIANOS COMO FONTE DE ÁGUA POTÁVEL	23
2.3.1 A locação e construção de um poço artesiano	24
2.3.1.1 Perfuração de um poço artesiano	25
2.4 DADOS SOBRE ÁGUA E SANEAMENTO	26
2.5 QUALIDADE DA ÁGUA.....	27
2.6 PARÂMETROS FÍSICOS DA ÁGUA	28
2.6.1 Cor aparente	28
2.6.2 Turbidez	28
2.7 PARÂMETROS QUÍMICOS DA ÁGUA	29
2.7.1 Alcalinidade	29
2.7.2 Amônia	30
2.7.3 Cloretos	31
2.7.4 pH	31
2.7.5 Ferro	32
2.8 PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS DA ÁGUA	32
2.8.1 Coliformes	34

2.8.2 Coliformes	fecais	
.....	35	3
OBJETIVOS		
.....		
.....	36	
3.1 OBJETIVO	GERAL	
.....	36	
3.2 OBJETIVOS	ESPECÍFICOS	
.....	36	4
.....		METODOLOGIA
.....	37	
4.1 TIPO	DE	PESQUISA
.....	37	
4.2 LOCAL	DE	ESTUDO
.....	37	
4.3 PROCEDIMENTOS	DA	PESQUISA
.....	37	
4.3.1 Coleta	das	amostras
.....	37	
4.3.2 Análises	dos	parâmetros físicos
.....	39	
4.3.2.1 Cor		aparente
.....	39	
4.3.2.2 Turbidez		
.....	40	
4.3.3 Análises dos parâmetros químicos		40
4.3.3.1 Alcalinidade		
.....	41	
4.3.3.2 Amônia		
.....	42	
4.3.3.3 Cloretos		
.....	42	
4.3.3.4 pH		
.....	43	
4.3.4 Análises dos parâmetros microbiológicos		43
4.3.4.1 Determinação presuntiva do número mais provável (NMP) de coliformes totais e fecais		44

4.3.4.2 Teste confirmatório para coliformes totais	45
4.3.4.3 Teste confirmatório para coliformes termotolerantes	45
4.3.4.4 Contagem padrão em PCA	45
4.4 TRATAMENTOS DOS DADOS	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	47
5.2 Alcalinidade	48
5.3 Cloretos	48
5.4 Ferro	49
5.2 ANÁLISE MICROBIOLÓGICA	49
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERENCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

As primeiras formas de vida se desenvolveram através da água, estas por sua vez deram origem às formas terrestres que para sobreviverem as novas condições desenvolveram adaptações para que pudessem retirar água do meio para a manutenção de seus próprios organismos (PALUDO, 2010). Fica evidente que a evolução dos seres vivos desde sua origem está ligada a dependência de água.

A água é um elemento vital para o homem tanto para suas necessidades fisiológicas quanto para sua higiene, entre outras finalidades. Podendo ser obtida para consumo a partir de rios, lagos, represas e aquíferos tendo assim influência direta na saúde e bem-estar humano (SILVA et al., 2017).

Nos últimos anos no Brasil e no mundo o uso de água subterrânea vem crescendo a cada dia, principalmente com a construção de poços artesianos para sua captação. Entre os motivos temos a grande oferta comparando-se seus volumes com as águas superficiais, que atingem cerca de 9 milhões de quilômetros cúbicos até a profundidade de 1.000 metros, enquanto que as superficiais estocam apenas 200 mil quilômetros cúbicos (REBOUÇAS, 1980).

A degradação das águas superficiais e o avanço da tecnologia de perfurações de poços elevam cada vez mais o interesse da sociedade por reservatórios subterrâneos. Como a demanda por água de boa qualidade cresce de acordo com a população, as águas subterrâneas passam a ser uma opção para suprir essa necessidade e tornou-se um tema relevante, principalmente no que se refere a gerenciamento de recurso hídrico (NOGUEIRA, 2010).

Segundo Motta e Frinhani (2012), durante seu percurso até chegar aos reservatórios subterrâneos às águas sofrem depuração, por meio de uma série de processos físico-químicos, como troca iônica, remoção de sólidos em suspensão e bacteriológicos. Esses processos que a modificam podem torná-la mais adequada para o consumo, mas não necessariamente promovem melhoria nas suas características.

A utilização de água fora dos padrões de potabilidade, e em relação aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, pode levar a população à contaminação por doenças de veiculação hídrica. Nesse cenário se agrava os riscos nos locais onde

é inexistente o tratamento de esgoto, como nas zonas rurais onde são construídas fossas convencionais para eliminação de dejetos, em que não se obedece nenhum critério técnico para sua construção, ocasionando a contaminação dos lençóis freáticos (NUNES et al., 2010).

Para ser considerada potável, a água deve obedecer aos limites estabelecidos pela Portaria N°518/2004 do Ministério da Saúde, para os parâmetros físico-químicos e microbiológicos (BRASIL, 2005).

O município de Parnaíba é rico no que se refere à hidrografia, tanto em relação a águas superficiais quanto as subterrâneas. Segundo a Agência Nacional de Águas (BRASIL, 2013) a região hidrográfica do Parnaíba é a segunda mais importante do Nordeste e os aquíferos da região apresentam o maior potencial hídrico da região Nordeste. Entretanto, apresenta diferenças inter-regionais tanto em relação ao desenvolvimento econômico e social quanto em relação à disponibilidade hídrica.

Mesmo com toda essa riqueza hídrica a água não é distribuída para as áreas mais distantes dos centros de tratamento, devido aos custos, adução e distribuição. Nesse caso, a população que mora nas áreas afastadas do centro urbano recorre em sua maioria a construções de poços artesianos, como é o caso da localidade Cacimbão que utiliza a mesma como fonte alternativa de abastecimento de água para consumo.

O presente estudo foi desenvolvido visando à análise físico-química e microbiológica da água de poços artesianos utilizada como fonte alternativa de abastecimento pela população da localidade Cacimbão, vindo a ser de grande importância, possibilitando assim uma visão acerca da utilização da água de poços como fonte alternativa para consumo, e informações que possam ser usadas para a melhoria da qualidade de vida da população residente na localidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA

A Terra também conhecida como Planeta Água, pois aproximadamente $\frac{3}{4}$ de sua superfície é coberta por água, razão pela qual recebeu esse apelido. A água é reconhecida pela ciência como o ambiente em que se originou a própria vida, se tornando assim elemento essencial para a manutenção dos seres vivos. Por esse motivo sua ocorrência caracteriza uma das condições básicas a existência de vida em outros planetas (CAPUCCI et al., 2001).

A água na forma líquida está presente em nosso planeta a pelo menos 3,8 bilhões de anos, considerando-se para essa datação as primeiras rochas formadas em ambiente aquático. Além disso, até agora, o planeta Terra é o único corpo do Sistema Solar conhecido onde a água está presente nos três estados físicos fundamentais da matéria: sólida, líquida e gasosa (REBOUÇAS, 2001).

Cerca de 97,6 % da água no planeta constitui os oceanos, mares e lagos de água salgada. Enquanto que a água doce representa os 2,4% restantes, destes 1,9% encontra-se inacessível ao homem pelas tecnologias atuais, pois se localizam nas calotas polares e geleiras, e da parcela restante (0,5%) mais de 95% é constituída pelas águas subterrâneas (CAPUCCI et al., 2001).

Segundo Rebouças (2001) o mau uso constante da água no Brasil e no mundo, vem acarretando a degradação de sua qualidade assim como sua escassez em níveis jamais imaginados, motivo pelo qual cada vez mais se utiliza as tradicionais expressões “água é vida”, “água elixir da vida” dentre outras maneiras de exprimir sua importância, que muitas das vezes se tornam obsoletas para a sociedade.

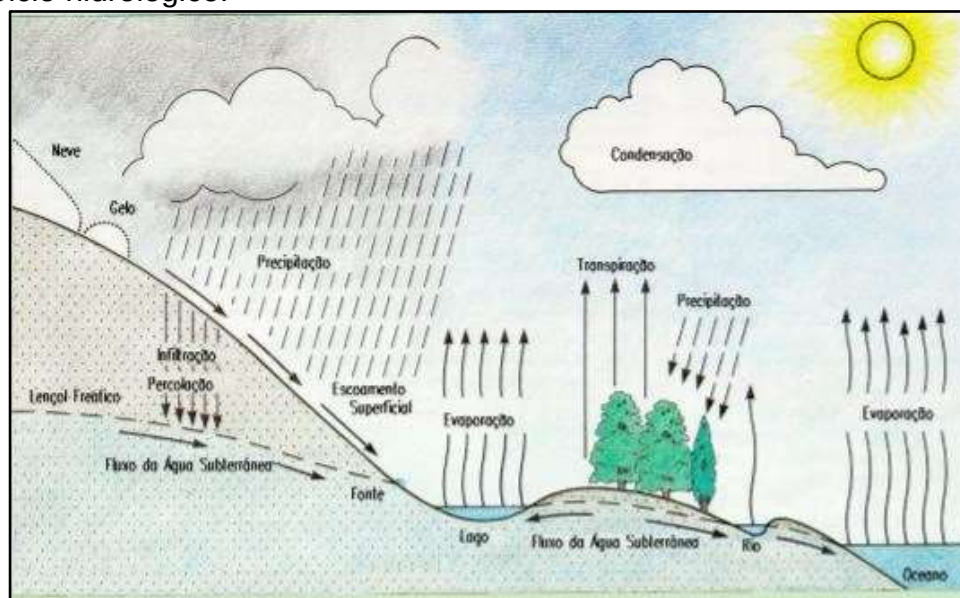
A disponibilidade de água doce vem se caracterizando cada vez mais como um negócio e fator econômico de competição no mercado, a falta de reconhecimento desse aspecto vem colocando o Brasil cujos potenciais de água doce são os maiores do mundo no arco comum dos países desenvolvidos e periféricos que, efetivamente, já enfrentam problemas de escassez de água (REBOUÇAS, 2001).

2.1.1 Ciclo hidrológico

O movimento contínuo da água em seu ciclo decorre da incidência dos raios solares e da força gravitacional. Segundo Mota (2016) ciclo hidrológico é todo o caminho que a água percorre desde o seu estado de vapor na atmosfera, passando por várias mudanças de fases até que retorne ao seu estado inicial na atmosfera.

As águas presentes nos oceanos e continente (rios e lagos) evaporam-se indo para a atmosfera formando-se as nuvens, estas por sua vez condensam-se e precipitam-se em forma de chuva, neve e granizo (BRASIL, 2017). Das águas que se precipita, parte evapora antes mesmo de chegar ao solo ou fica retida nas plantas, outra parte escoam para os mares, rios e lagos, e finalmente se infiltra no subsolo formando os reservatórios de água subterrânea ou aquíferos. A mesma de maneira lenta alimenta os rios, lagos ou mares e também podem emergir a superfície, formando fontes, em seguida as águas evaporam-se reiniciando o ciclo como mostra a Figura 1 (CAPUCCI et al., 2001).

Figura 1 - Ciclo hidrológico.



Fonte: Adaptado de Capucci et al., (2001).

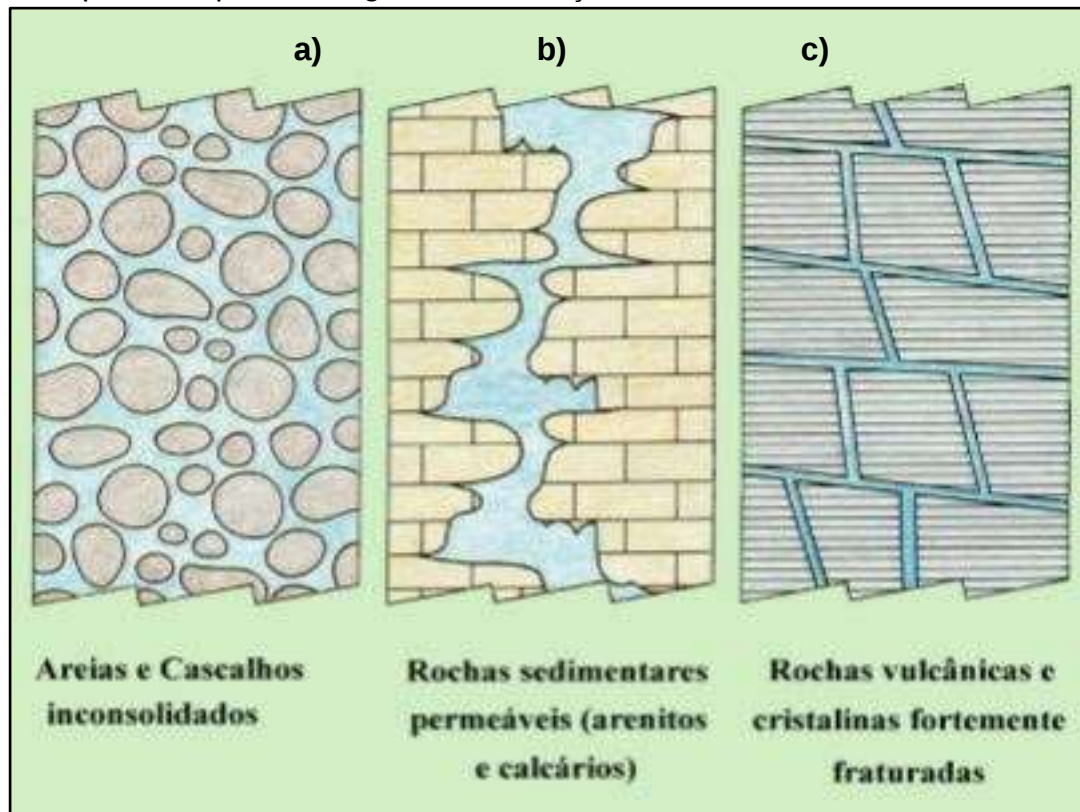
Vale frisar que a água é uma só, apesar das várias denominações água subterrânea, superficial e atmosférica ela está sempre mudando de condição. A água que se precipita em forma de chuva, neve ou granizo, já esteve presente no subsolo, em icebergs e passou pelos rios e oceanos (BRASIL, 2017).

2.2 AQUÍFERO

Borguetti, Borguetti e Filho (2004) afirmam que “aquífero é uma formação geológica do subsolo, constituída por rochas permeáveis, que armazena água em seus poros ou fraturas”, podendo apresentar tamanhos e formas diferentes de acordo com a formação geológica onde se encontram e desde uma extensão de poucos Km² a milhares de quilômetros km² e profundidade de poucos metros a centenas de metros.

Segundo Capucci et al., (2001) aquíferos podem ser chamados de reservatórios naturais de água subterrâneas pois se encontram abaixo da superfície e por apresentarem como característica principal armazenar água passível de extração. De acordo com o autor podem ser classificados em três tipos dependendo da formação rochosa onde se encontram (FIGURA 2).

Figura 2- Tipos de aquíferos segundo a formação rochosa.



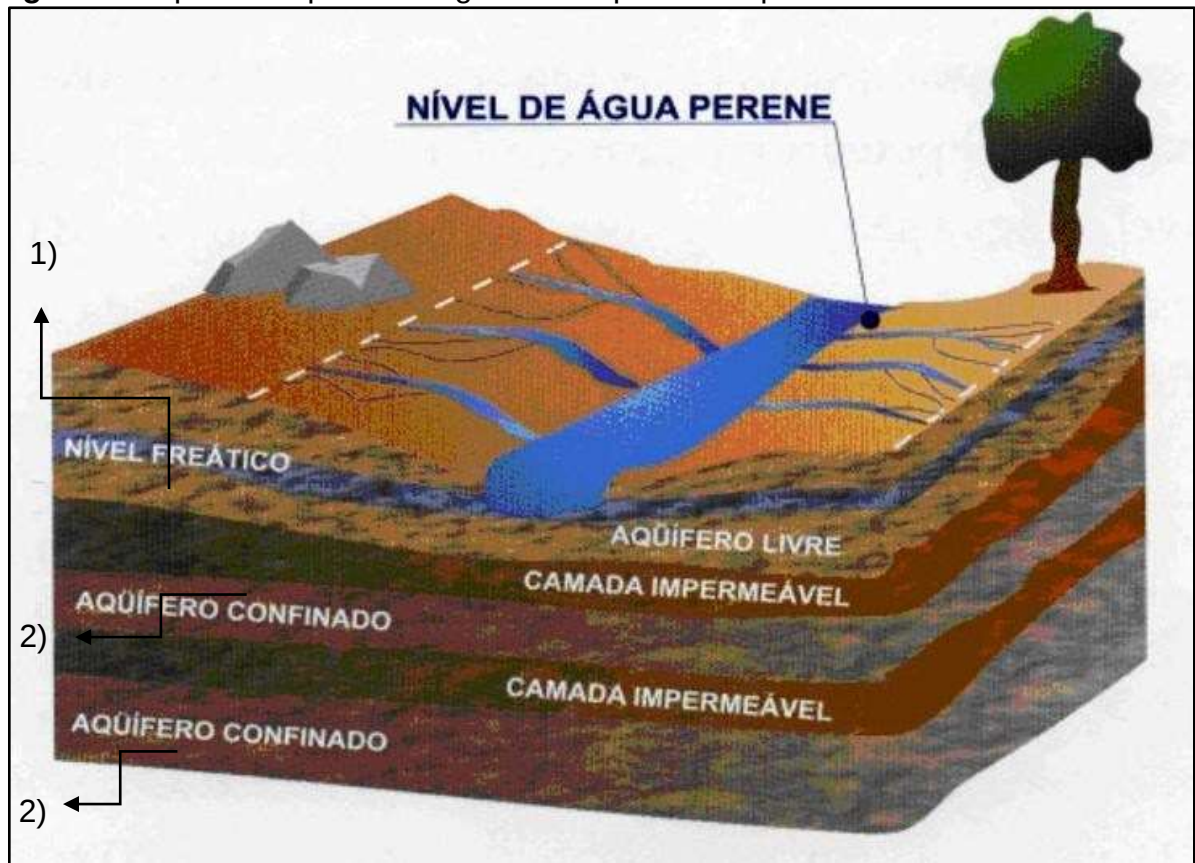
Fonte: Adaptado de Capucci et al., (2001).

- a) Aquíferos granulares ou porosos – são formados por rochas sedimentares ou solos arenosos caracterizados por apresentarem a circulação da água nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada;

- b) Aquíferos fissurais – são formados por rochas ígneas e cristalinas nesse tipo de aquífero a água está contida nas fraturas, fendas e rachaduras causadas pelo movimento das placas tectônicas;
- c) Aquíferos cárstico ou cavernoso – formado em rochas calcárias ou carbonáticas onde a circulação da água se faz nas fraturas e outras discontinuidades causadas pela dissolução do carbonato pela água.

Segundo Borghetti, Borghetti e Filho (2004) os aquíferos são classificados em dois tipos quanto à superfície superior do subsolo e de acordo com a pressão da água armazenada (FIGURA 3).

Figura 3 - Tipos de aquíferos segundo a superfície superior.



Fonte: Adaptado de Borghetti; Borghetti & Filho, (2004).

- 1) Aquífero livre ou freático – limitado na sua parte inferior por uma camada impermeável, e na parte superior por uma camada geológica permeável e superficial do solo, possuindo pressão compatível ou em equilíbrio com a pressão atmosférica. Por serem de fácil captação devido à profundidade são os mais utilizados pela população, mas em contrapartida apresentam

maiores problemas de contaminação, decorrentes de sua característica de recarga direta.

- 2) Aquífero confinado ou artesiano – constituído por uma formação geológica permeável e contido entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. A água nesse tipo de aquífero está sob pressão superior à pressão atmosférica possuindo recarga indireta.

Dentre os aquíferos mais importantes do mundo, tanto por sua extensão e transnacionalidade podemos destacar o Guarani (1,2 milhões de km²) ocorrendo nos países da Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai; o Arenito Núbia (2 milhões de km²) presente na Líbia, Egito, Chade, Sudão; Grande Bacia Artesiana (1,7 milhões km²) e a Bacia Murray (297 mil km²), ambos presentes na Austrália (BORGHETTI; BORGHETTI & FILHO, 2004).

Os poços que captam água nesse tipo de aquífero são denominados poços artesianos, pois seu nível d'água está acima do lençol freático no também chamado de nível artesianos (CAPUCCI et al., 2001).

2.2.1 Unidades aquíferas e poços do Piauí

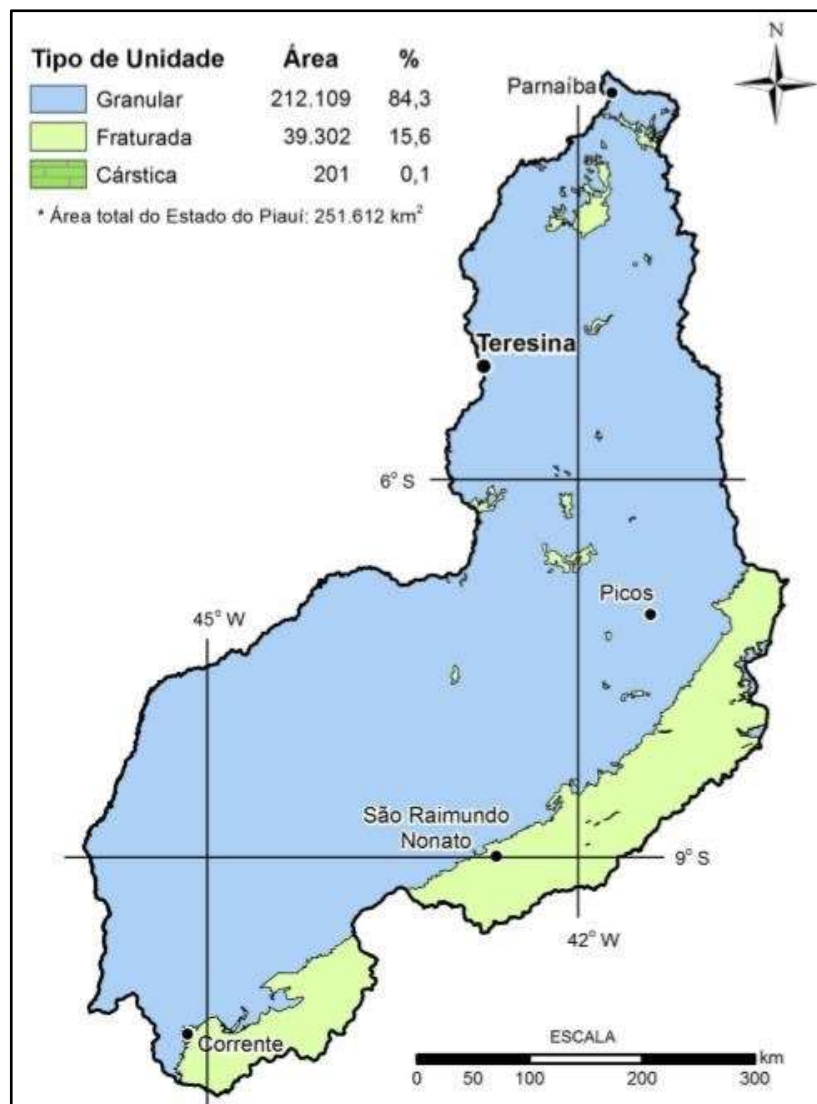
De acordo com Monteiro et al. (2016) o Piauí possui uma área de aproximadamente 251.612 km² e tem sua hidrolitologia (agrupamento de unidades geológicas que armazenam e transmitem águas subterrâneas de forma semelhante) representada por 84,30% (212.109 km²) de unidades Granulares, 15,6% (39.302 km²) de unidades Fraturadas e 0,1% (201 km²) de unidades hidrolitológicas Cársticas (FIGURA 4).

O Estado do Piauí possui dois sistemas aquíferos (associação de aquíferos), sendo eles o Sistema Aquífero Urucuia (SAU) e o Sistema Aquífero Poti-Piauí (SAPP). O SAU se constitui um aquífero livre, contínuo, poroso, extensão regional, com condições de confinamento, determinado pelos níveis silicificados e/ou controle estrutural em profundidade com vazões superiores a 100 m³/h, já o SAPP apresenta um sistema aquífero poroso, espessura média de 450 metros, extensão regional, contínuo e apresenta uma vazão média de 42 m³/h como livre e vazões superiores a 50 m³/h, como confinado (MONTEIRO et al., 2016).

Sendo que esse Estado possui um total de 19 aquíferos, distribuídos da seguinte maneira nas três classes maiores que são as unidades hidrolitológicas: 15 granulares, 3 cársticas e 1 fraturada.

Segundo dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) só no Brasil atualmente são 300.073 o número de poços cadastrados, destes 29.173 estão no Piauí, sendo que o estado apresenta o maior número de poços em todo o país (BRASIL, 2018).

Figura 4- Unidades hidrolitológicas do Piauí.



Fonte: Monteiro et al., (2016)

O cadastramento de pontos de captação de água nos diversos estados do Brasil e a operação e manutenção do SIAGAS, sendo esse sistema de informações desenvolvido e mantido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) em parceria com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), permite o mapeamento e

pesquisa hidrogeológica em todo o país, e uma gestão adequada da informação hidrogeológica e a sua integração com outros sistemas (VASCONCELOS, 2014).

2.2.2 Águas subterrâneas

Segundo a Resolução CONAMA Nº 396, de 3 de abril de 2008 considera-se águas subterrâneas as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo (BRASIL, 2008). As águas subterrâneas correspondem às águas que se infiltram no subsolo, e ficam retidas, preenchendo os poros ou vazios intergranulares do solo, ou fraturas das rochas (CAPUCCI et al., 2001). É toda água contida nos vazios das rochas como poros, fraturas e falhas, principalmente por forças naturais (REBOUÇAS, 1981).

A contaminação e/ou degradação das águas superficiais, comumente utilizadas por parte do homem ao satisfazer suas próprias necessidades e suas atividades econômicas, vem se tornando cada vez mais um dos grandes motivos pelo crescimento do interesse pelas águas subterrâneas como fontes de abastecimento, e também pelo seu alcance econômico, social e estratégico (REBOUÇAS, 1980).

Rebouças (1980) de um modo geral cita sete razões principais pelo qual as águas subterrâneas estão sendo escolhidas comparadas as superficiais:

1. Seu uso não necessita de tratamento prévio, dispensando os gastos com a purificação e/ou tratamento no caso das águas superficiais;
2. Devido sua localização natural encontram-se mais protegidas dos agentes de poluição;
3. Apresentam meios de estocagem em longo prazo, devido a velocidade lenta com que circulam e os volumes grandes que armazenam, em relação aos mananciais superficiais;
4. No cenário de catástrofes atômicas ou ações de terrorismo, estão mais protegidas da radiação, assim as grandes potências cada vez mais dedicam atenção a esse aspecto;
5. Devido estar isentas dos raios solares não sofrem evaporação assim não perdem grandes volumes de água, comparadas as superficiais, e não se enchem de sedimentos;

6. Embora tenham a mesma finalidade dos rios, em nível de abastecimento público, as reservas de águas subterrâneas permitem um parcelamento dos investimentos, à medida que surge a demanda.
7. Como sua ocorrência se estende por diversos lugares, possibilita a captação nos locais onde ocorrem as demandas.

De acordo com Paludo (2010) em todo o mundo cerca de 1,5 bilhões de pessoas, considerando os núcleos urbanos e rurais, utilizam os mananciais subterrâneos como fonte alternativa de abastecimento de água. No Brasil as reservas de águas subterrâneas são estimadas em cerca de 100.000 Km³, dos quais 50% estão situados a menos de 1.000 metros de profundidade (REBOUÇAS, 1981).

2.3 POÇO ARTESIANO COMO FONTE DE ÁGUA POTÁVEL

Denomina-se poço artesiano aquele cujo suas as águas fluem naturalmente do solo em um aquífero confinado ou artesiano até chegar ao nível superior, que na maioria das vezes suas águas possuem pressões maiores que a pressão atmosférica, em decorrência disso há vasão de água sem o auxílio de bombas (FAGUNDES & ANDRADE, 2015). Há cerca de 3.000 anos a.C os chineses inventaram e aperfeiçoaram a arte de perfurar poços. As perfurações eram feitas por agitação de varas e os poços eram revestidos por bambu. A história relata poços de até 650 metros de profundidade (REBOUÇAS, 1981).

Essa denominação poço artesiano veio em decorrência de uma palavra derivada do francês “*artésien*” em referência a uma província do norte da França chamada *Artois*, onde foram perfurados os primeiros poços profundos no nível dos aquíferos confinados, por volta do ano de 1750 (VASCONCELOS, 2014).

No Brasil os primeiros poços perfurados datam do início do século XIX. Em 1831, foi autorizada pela Regência Trina a abertura de poços tubulares, para sanar os problemas de escassez no Nordeste, enquanto nessa região objetivava supri as necessidades vitais, nas regiões Sudeste e Sul as águas dos poços eram usadas na fabricação de cerveja e uísque Bourbon, devido apresentarem boa qualidade (REBOUÇAS, 1981). Oriundos da Inglaterra os primeiros equipamentos de perfuração de poços eram movidos a vapor, e o primeiro poço teria sido perfurado por volta de 1850, no atual Estado do Ceará (REBOUÇAS, 1980).

Segundo Fagundes e Andrade (2015) em todo o mundo, nos últimos 25 anos foram perfurados mais de 12 milhões de poços tubulares artesianos. Com o avanço da tecnologia de perfurações de poços cada vez mais as águas subterrâneas estão sendo utilizadas, e os poços com profundidades maiores. No Brasil já se perfuram poços com profundidades de dois mil metros e se tem alcançados vazões de 1 milhão de litros por hora (REBOUÇAS, 1980).

Mas como a perfuração de poços é uma atividade especializada da engenharia, requer um estudo detalhado da área a ser perfurada e sem falar que existe uma legislação própria (FAGUNDES & ANDRADE, 2015). Um simples furo diferencia-se de uma obra de captação de água subterrânea devidamente projetada e construída, da mesma maneira que uma facada se diferencia de uma incisão cirúrgica (REBOUÇAS, 1980).

Para usufruir das condições totais de aproveitamento das águas subterrâneas e de suas vantagens, a perfuração de um poço deve obedecer às normas técnicas e ser utilizada uma tecnologia que possibilite a maior segurança possível (PALUDO, 2010).

Segundo a Portaria nº 518/2004 define como soluções alternativas de abastecimento de águas para consumo humano, toda modalidade de abastecimento coletivo de água distinta do sistema de abastecimento de água, incluindo, entre outras, fontes, poço comunitário, distribuição por veículo transportador, instalações condominiais horizontais e verticais (BRASIL, 2005).

2.3.1 A Locação e construção de um poço artesiano

Embora que a água subterrânea se apresente, mesmo que teoricamente, em todos os lugares não significa que os poços para sua captação possam ser construídos em qualquer local. Uma obra desse tipo requer critérios técnicos, pois envolve custos altos, e não só fator monetário mais também natural para que se tenha um condicionamento da distribuição e concentração das águas subterrâneas em determinados locais (CAPUCCI et al., 2001).

De acordo com Capucci et al.,(2001) um poço sendo uma atividade de engenharia deve-se considerar para sua construção os fatores correspondentes as qualidades hidrogeológicas, hidrodinâmicas e físico-químicas da geologia do solo a ser explorado.

Se as condições de locação do poço, do projeto de construção, de uma fiscalização e execução forem corretamente seguidas, propiciará maiores rendimentos e uma vida prolongada ao poço.

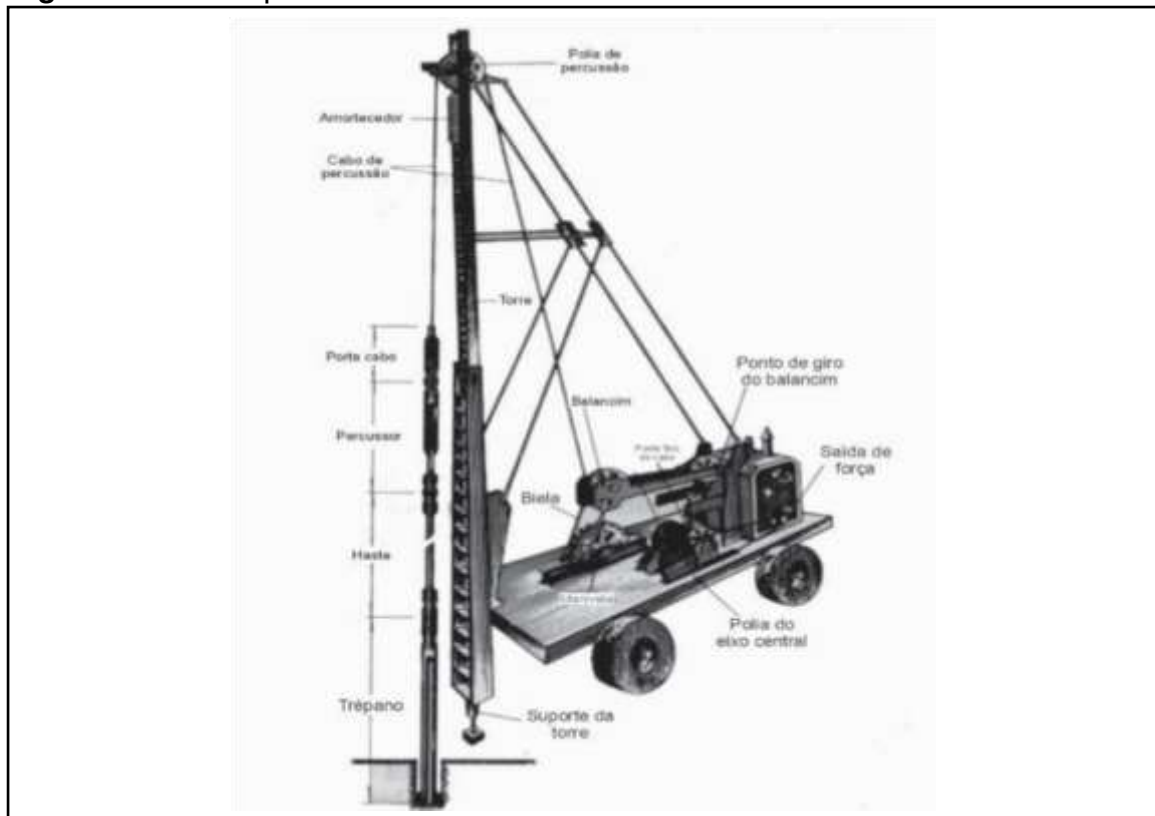
Muitas das vezes por questões financeiras o interessado em captar água subterrânea contrata uma mão de obra barata ou empresas clandestinas sem qualquer qualificação para a perfuração do poço, que em muitas das vezes fazem o uso de ferramentas e métodos inadequados e/ou perfuram sem um estudo prévio do local, correndo o risco de o lugar onde foi perfurado o poço as águas se encontrem contaminadas (FAGUNDES & ANDRADE, 2015).

A construção de um poço tubular também conhecido como artesiano, em rochas moles e duras, envolve os seguintes passos distintos: perfuração; aplicação de revestimento; encascalhamento – aplicação de seções filtrantes no revestimento quando necessário; desenvolvimento – destinado a garantir a produção de água limpa sem carregar sedimentos; cimentação e o teste de produção (CAPUCCI et al., 2001).

2.3.1.1 Perfuração de um poço artesiano

Esses tipos de poços são perfurados por furadeiras gigantes, que utilizam uma broca oriunda da indústria petrolífera (PALUDO, 2010). Que segundo Capucci et al. (2001) esse método de perfuração é denominado de percussão a cabo pois os poços são escavados por uma sonda percussora como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Sonda percussora



Fonte: Capucci et al., (2001).

O funcionamento do sistema de percussão ocorre da seguinte maneira: o movimento das ferramentas dar-se-á por conta do motor a diesel, que inicialmente aciona o balanço fazendo com que o cabo de aço se eleve e desça em movimentos contínuos, na extremidade do cabo se encontra a ferramenta cortante chamada de trépano, este por sua vez rompe e esmaga as rochas em pequenos fragmentos, sendo que quando opera em rochas moles afrouxa o material.

Nesses dois casos, o sobe e desce das ferramentas mistura os pedaços triturados de rochas com a água formando uma lama, que é retirada em intervalos de tempo.

2.4 DADOS SOBRE ÁGUA E SANEAMENTO

Entre os anos de 1990 e 2010 mais de 2 bilhões de pessoas obtiveram acesso a fontes de água potável, entre as fontes de abastecimento estão as tubulações e poços protegidos, entretanto mais de 783 milhões de pessoas ainda não tem acesso a água potável, com grande variação regional (ONU, 2012).

Em relação ao saneamento o mundo está longe de atingir uma meta, pois cerca de 2,5 bilhões de pessoas ainda não tem saneamento básico, tais como banheiros e

latrinas. E um dado alarmante é que cerca de 1,5 milhões de crianças morrem a cada ano, cinco mil por dia, vítima de doenças ligadas à água e saneamento, como as doenças diarreicas. Tem-se uma estimativa que 80% das doenças em países em desenvolvimento são causadas por falta de água potável, saneamento ou instalações de saneamento precárias e inadequadas (ONU, 2012). No Brasil, 93% da população urbana são beneficiadas pela rede de abastecimento de água, em contrapartida somente 53,6% da população é atendida pela coleta de esgoto. Sendo que do esgoto gerado somente 39% sofre algum tipo de tratamento, ou seja, o restante que representa mais de 60% do esgoto doméstico produzido é lançado *in natura* nos corpos d'água (SOUZA & SANTOS, 2016).

As doenças de veiculação hídrica são originadas por microrganismos patogênicos de origem entérica, animal ou humana, através da rota fecal-oral. O risco dessas doenças no meio rural é grande, vendo que muitas das águas para abastecimento são captadas em poços velhos inadequados, sem proteção e próximos de fontes de contaminação como fossas sépticas e áreas de pastagem de animais (AMARAL et al., 2003). Sendo que sete em cada dez pessoas sem saneamento básico vivem no meio rural (ONU, 2012).

No Brasil, 19% do total de domicílios são abastecidos pelos aquíferos subterrâneos, cerca de 6.549.363 domicílios, destes, 68,78% estão localizados na área rural, abrangendo 11,94% de toda a população nacional. As fontes de contaminação antropogênicas mais comuns em águas subterrâneas estão ligadas a despejos domésticos, industriais e ao chorume decorrente de aterros de lixo, que acabam indo parar no lençol freático.

Essas fontes de contaminação ocasionam a mobilização de metais naturais contidos no solo, como o alumínio, ferro e manganês, além de serem potenciais fontes de nitrato e substâncias orgânicas nocivas ao homem (FREITAS; BRILHANTE & ALMEIDA, 2001).

2.5 QUALIDADE DA ÁGUA

A questão da qualidade da água ganhou evidência com a sanção da Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos que tem como um dos fundamentos, o gerenciamento desses recursos,

proporcionando seu uso múltiplo e objetivando assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos (BRASIL, 1997).

Embora os esforços de armazenar e diminuir o consumo de água em todo o planeta, ela está se tornando cada vez mais um recurso escasso e sua qualidade deteriorando-se rapidamente (FREITAS; BRILHANTE & ALMEIDA, 2001). A preservação de sua qualidade é uma necessidade universal, para tanto requer uma atenção por parte das autoridades sanitárias e consumidores em geral, no que se refere às águas dos mananciais superficiais e subterrâneos destinados ao consumo humano, visto que sua contaminação por excretas de origem humana e animal pode transforma-las em veículos de transmissão de doenças, os quais influenciam diretamente na saúde da população (AMARAL et al., 2003).

Para ser considerada potável a água deve apresentar as características de ser inofensiva para a saúde humana, agradável aos sentidos e adequada aos usos domésticos (CASTRO; SILVA & FORMIGA, 2016).

Das disposições gerais a Portaria MS Nº 518/ 2004 estabelece em seu art. 2º que toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância de sua qualidade (BRASIL, 2005).

2.6 PARÂMETROS FÍSICOS DA ÁGUA

As características físicas das águas de abastecimento levam a um impacto imediato por parte do consumidor, em caso de não apresentar qualidades adequadas ocasionam em diversas vezes sua recusa, fazendo com que o consumidor utilize fontes alternativas não necessariamente seguras (SILVA et al., 2017). Para sua aceitação, espera-se que a água para consumo humano, seja transparente, isenta de cor, cheiro e sabor (PALUDO, 2010).

2.6.1 Cor aparente

A cor da água decorre da presença de substâncias dissolvidas ou em suspensão, que podem alterá-la dependendo da quantidade e da natureza do material contido (SILVA et al., 2017). Provém da matéria orgânica presente na água como, por exemplo,

substâncias húmicas, taninos que são originados da decomposição de vegetais e também por metais, como o ferro e o manganês e pelos resíduos industriais (PALUDO, 2010).

Segundo Oliveira (2016) a determinação de cor da água é mais uma característica estética, do que sanitária, pois uma água que não apresenta cor pode ser menos potável do que uma água colorida. Sua determinação é de fundamental importância, vendo que apresentando cor elevada ocasiona sua rejeição por parte dos consumidores e economicamente prejudicial para algumas indústrias.

Para a cor aparente da água a Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece um valor máximo permitido ao consumo humano de 15 uH (unidade *Hazen*).

2.6.2 Turbidez

A turbidez da água é gerada pela presença de substâncias em suspensão ou coloidais, que provocam a redução de sua transparência (SANTOS & MOHR, 2016). Decorre também da presença de algas, plâncton, matéria orgânica além de outras substâncias como o zinco, ferro, manganês e areia, oriundos naturalmente do processo de erosão ou de esgotos domésticos e despejos industriais (PALUDO, 2010).

Esse parâmetro tem grande relevância no tratamento da água, a presença de partículas em suspensão dificulta a desinfecção da água, pois impedem o contato direto dos agentes patogênicos aos desinfetantes (COELHO et al., 2017). A turbidez nas águas naturais no período de chuva é favorecida, devido ao carreamento do solo para os rios e lagos, limitando a passagem de luz do sol, dificultando o processo de fotossíntese que, por sua vez, reduz a reposição de oxigênio (BORTOLI, 2016).

A Portaria nº 518/2004 do MS estabelece como 5 UT (Unidade de Turbidez) o valor máximo permitido de turbidez para que a água seja aceita para consumo humano.

2.7 PARÂMETROS QUÍMICOS DA ÁGUA

A qualidade química é decorrente da detecção da própria substância na água, por meio de métodos laboratoriais específicos. Caso tais substâncias químicas estejam

presentes na água, com os valores de suas concentrações acima dos valores de concentrações permitidos, e se ingeridas pelo ser humano em certa quantidade diária, acarreta as pessoas um risco de acometimento de doença crônica (SILVA et al., 2017).

Os parâmetros químicos são de suma importância para se analisar a água, pois de acordo com seu conteúdo mineral podemos classifica-la, determinar o nível de contaminação, assim como assinalar picos de concentração de poluentes tóxicos e as possíveis fontes (PALUDO, 2010).

2.7.1 Alcalinidade

A alcalinidade é a medida da capacidade que a água possui de neutralizar ácidos, ou seja, a quantidade de substâncias na água que atuam como um tampão. Essa característica provém da presença de bases fortes, fracas e de sais de ácidos fracos, na água. Os responsáveis pela alcalinidade na água são os carbonatos CO_3^{2-} , bicarbonatos HCO_3^- e os hidróxidos OH^- (SANTOS & MOHR, 2013).

Se na água quimicamente pura ($\text{pH}=7$) for adicionada pequena quantidade de um ácido fraco seu pH mudará instantaneamente. Já numa água com certa alcalinidade a adição de uma pequena quantidade de ácido fraco não provocará a elevação de seu pH, porque os íons presentes irão neutralizar o ácido (CORNATIONI, 2010). De acordo com Veiga (2005) o pH influencia da seguinte maneira a alcalinidade (QUADRO 1).

Quadro 1- relação entre pH e as diversas formas de alcalinidade.

Faixa de pH	Alcalinidade
> 9,4	Hidróxidos e carbonatos
8,3 – 9,4	Carbonatos e bicarbonatos
4,4 – 8,3	Bicarbonatos

Fonte: Veiga, (2005).

A alcalinidade em quantidades ou teores altos pode ocasionar sabor desagradável à água, causando sua rejeição pelo consumidor. A determinação das concentrações dos íons carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes na água são importantes, pois permite conhecer as características corrosivas e incrustantes da água (BORTOLI, 2016). A legislação vigente não estabelece um limite para alcalinidade nas águas para consumo, mas recomenda uma análise desse parâmetro.

2.7.2 Amônia

Segundo Brasil (2014) o nitrogênio pode ser encontrado no meio aquático em diferentes formas – nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico, íon amônio (NH_4^+), íon nitrito (NO_2^-) e íon nitrato (NO_3^-). Sendo que o seu ciclo conta com a intensa participação de bactérias, tanto para o processo de nitrificação, que consiste na oxidação bacteriana do amônio a nitrito e deste origina o nitrato, quanto ao processo de desnitrificação onde ocorre o inverso da nitrificação, ou seja, a redução bacteriana do nitrato ao gás nitrogênio.

A amônia pode estar presente, naturalmente, em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que, usualmente, sua concentração é bastante baixa, devido à sua fácil adsorção por partículas do solo ou à oxidação a nitrito e nitrato. No entanto, a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição recentes e próximas do local estudado, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo (COSTA et al., 2015).

De acordo com a Portaria nº 518/2004 o valor máximo permitido de amônia presente na água para sua aceitação para consumo humano é de 1,5 mg/L.

2.7.3 Cloretos

Os cloretos das águas naturais resultam da percolação das rochas e dos solos com os quais as águas têm contato direto. As águas subterrâneas e de rios possuem elevados teores de cloretos (SOUSA, 2001).

Concentrações do íon cloreto na água podem ocasionar restrições ao sabor da mesma, fazendo com que a água seja rejeitada pelo consumidor. Em algumas situações tem efeito laxativo, pois há uma associação do cloreto com o cálcio,

magnésio, sódio e potássio, ocasionando essa consequência ao homem (CORNATIONI, 2010). Os cloretos quando apresentam concentrações altas em águas doces, são indicadores de poluição por esgotos domésticos (BORTOLI, 2016).

Para esse parâmetro a Portaria nº 518/2004 do MS estabelece como sendo 250 mg/L o valor máximo permitido para a aceitação da água para consumo humano.

2.7.4 pH

Segundo Brasil (2014) o pH (potencial hidrogeniônico) representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido, por meio da medição da presença de íons hidrogênio (H^+). É calculado em escala antilogarítmica, abrangendo a faixa de 0 a 14, sendo que o $pH < 7,0$ condições ácidas, $pH > 7,0$ condições alcalinas e o $pH = 7$ neutralidade. Seu valor tem influencia nas distribuições das formas livres e ionizadas de diversos compostos químicos.

Quase todas as etapas de tratamento da água dependem do valor do pH, como os processos de neutralização, precipitação, coagulação, desinfecção e controle à corrosão, determinação da alcalinidade e do CO_2 e também no equilíbrio ácido-base (SANTOS & MOHR, 2013). Quando o pH apresenta valores baixos na água de abastecimento, contribuem para a corrosividade e agressividade da água, enquanto que em valores elevados causam incrustações (CORNATIONI, 2010). As alterações de pH podem ter origem natural como a dissolução de rochas e a fotossíntese, ou antropogênica oriundas dos despejos domésticos e industriais (BRASIL, 2014).

A Portaria nº 518/2004 do MS recomenda que o pH da água esteja na faixa de 6,0 a 9,5.

2.7.5 Ferro

O ferro é encontrado em praticamente todas as águas, podendo apresentarse no estado ferroso (Fe^{+2}) formando compostos solúveis. Nos ambientes oxidantes o Fe^{2+} passa para Fe^{+3} , dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, tingindo fortemente a água (VEIGA, 2005). Quando encontrado em teores superiores a $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$, a água tem sua cor, odor e sabor alterados, reduzindo assim a aceitação dessa água por parte da população (PICANÇO; LOPES & SOUZA, 2002).

Nas águas subterrâneas o mais comum íon de ferro dissolvido é o Fe^{2+} e o FeOH^+ pode ocorrer com teores de CO_2 baixos (CELLIGOI, 1999). Sob as condições anaeróbicas das águas mais profundas, a forma ferrosa fica favorecida podendo haver diversos ppm (mg.L^{-1}) de ferro dissolvido na água, enquanto que sua concentração em águas superficiais raramente excede $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ (VEIGA, 2005). De acordo com a Portaria nº 518/2004 do MS o valor máximo permitido do teor de ferro em águas para consumo é de $0,3 \text{ mg. L}^{-1}$.

2.8 PARÂMETRO MICROBIOLÓGICO DA ÁGUA

Quando as águas apresentam nutrientes suficientes, se tornam um meio para o desenvolvimento de microrganismos e para sua proliferação. Dentre esses organismos, são inúmeras as espécies patogênicas, necessitando de técnicas específicas para sua identificação. Nessas espécies destacam-se as bactérias, vírus e protozoários, que podem ser patogênicos.

Embora as bactérias patogênicas sejam as mais numerosas, não são os únicos microrganismos patogênicos presentes nas águas residuais e naturais (SOUSA, 2001). Na Tabela 1 são apresentados os principais microrganismos presentes na água, e as doenças vinculadas a esses organismos.

Tabela 1- Principais microrganismos patogênicos que podem estar presentes na água.

Organismos	Doenças
BACTÉRIAS	
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
<i>Shigella spp.</i>	Desinteria bacilar
<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifoide
<i>Salmonella paratyphi</i>	Febre paratifoide
<i>Escherichia coli</i> (tipos enteropatogênicos)	Diarreia infantil
<i>Salmonella, Shigella e Proteus spp.</i>	Gastroenterites
<i>Leptospira spp</i>	Leptospirose
<i>Pasteurella tularensis</i>	Tularémia (rara)

VÍRUS	
<i>Coxsachie e Echo</i>	Enterites
<i>Adenovírus e reovírus</i>	Faringites e rinofaringites
<i>Vírus da hepatite</i>	Hepatite
PARASITAS	
<i>Ascaris spp.</i>	Ascaridíase
<i>Schistosoma spp.</i>	Bilharziose ou schistosomíase
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amibíase intestinal

Fonte: Sousa, (2001).

Uma maneira de se caracterizar a água microbiologicamente é fazendo análises laboratoriais, com a contagem de coliformes, que são bactérias que vivem no intestino de animais e humano e sua presença na água é um indicador de contaminação por fezes ou esgoto doméstico (PALUDO, 2010).

Os mais utilizados como indicadores de poluição na água são a *Escherichia coli* e os coliformes totais (SANTOS & MOHR, 2013). O termo microrganismo indicador, pode ser aplicado a qualquer grupo taxonômico ou fisiológico de organismos cuja presença ou ausência dá evidência indireta de contaminação da amostra estudada (VEIGA, 2005).

Dos padrões de potabilidade a Portaria Nº 518/2004 do Ministério da Saúde em seu art. 11º disponibiliza os valores máximos permitidos (VMP) para os padrões microbiológicos da água para consumo (TABELA 2).

Tabela 2- Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano.

Parâmetro	VMP ⁽¹⁾
Água para consumo humano ⁽²⁾	
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes. ⁽³⁾	Ausência em 100 ml

Fonte: Adaptado de Portaria 518/2004 Ministério da Saúde, (2005). Notas:

(1) valor máximo permitido

(2) água para consumo humano em toda e qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas, nascentes, dentre outras.

(3) a detecção de *Escherichia coli* deve ser preferencialmente adotada.

2.8.1 Coliformes totais

São coliformes totais (bactérias do grupo coliforme) – bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de se desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a uma temperatura de $35 \pm 0,5$ °C no período de 24 a 48 horas (BORTOLI, 2016). Encontram-se difundidos nos mais diversos ambientes, podendo ser encontrados em vários tipos de produtos, especialmente de origem animal e no trato intestinal humano. As bactérias desse grupo podem ou não ser encontradas em fezes (PALUDO, 2010).

A maioria das bactérias do grupo coliforme pertence aos gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, embora vários outros gêneros e espécies pertençam ao grupo. Com exceção da *Escherichia coli*, além das fezes os demais grupos podem estar presentes em outros ambientes como nos vegetais e solo (BORTOLI, 2016).

De acordo com Veiga (2005) em termos bacteriológicos, os poços e as fontes produzem águas de boa qualidade, desde que providências sejam tomadas para evitar contaminações. Mesmo que a água apresente aparência excelente, ela pode conter substâncias tóxicas e/ou microrganismos patogênicos, ambos invisíveis a olho nu.

2.8.2 Coliformes fecais

A Resolução CONAMA nº 357/2005 define coliformes fecais ou termotolerantes como bactérias gram-negativas em forma de bacilos, oxidasenegativas, caracterizadas pela atividade da enzima β -galactosidase. Podendo crescer em meios que apresentem agentes tenso-ativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44 °C a 45 °C, com produção de ácido, gás e aldeído (BRASIL, 2005). Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais de sangue quente, ocorrem em locais que não tenham sido contaminados por massa fecal, como no solo, nas plantas ou outras matrizes ambientais.

Como a maior parte das doenças associadas com a água é transmitida por via fecal-oral, isto é, os organismos patogênicos, ao serem eliminados pelas fezes, atingem o

ambiente aquático, podendo vir a contaminar as pessoas que se abastecem de forma inadequada desta água. Conclui-se que as bactérias coliformes podem ser usadas como indicadoras desta contaminação. Quanto maior a população de coliformes em uma amostra de água, maior é a chance de que haja contaminação por organismos patogênicos (BRASIL, 2014).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas de poços artesianos da Localidade Cacimbão do município de Parnaíba-PI.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar as amostras em três poços artesianos distintos da Localidade Cacimbão;
- Analisar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de poços artesianos da Localidade Cacimbão;
- Verificar se os parâmetros da água de poços artesianos da localidade obedecem aos padrões estabelecidos pela Portaria nº 518 de 2004 do Ministério da Saúde;

- Identificar a importância do uso de água de poços artesianos como fonte alternativa de abastecimento.

4 METODOLOGIA

4.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa se caracteriza como experimental, pois foi determinado o objeto de estudo, e selecionaram-se as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo. E teve caráter qualitativo, devido à identificação dos parâmetros analisados na amostra, e quantitativo devido à quantificação dos parâmetros analisados (GIL, 2008).

4.2 LOCAL DE ESTUDO

A Localidade Cacimbão, localiza-se no estado do Piauí as margens da BR 343, rodovia que interliga o Município de Parnaíba a capital Teresina, nas coordenadas 2° 58'3.35" latitude Sul e 41° 45'36.72" longitude Oeste (FIGURA 6). As famílias que residem no local utilizam poços artesianos de maneira alternativa, para supri suas necessidades no que se refere ao abastecimento de água, no entanto, recebem água

tratada, mais ainda é grande o número de pessoas que fazem uso das águas de poços artesianos, para as mais variadas finalidades: consumo humano, irrigação de horta, piscicultura, lazer (piscinas) dentre outros fins.

Figura 6 – Entrada da Comunidade Cacimbão



Fonte: Acervo Pessoal, (2018).

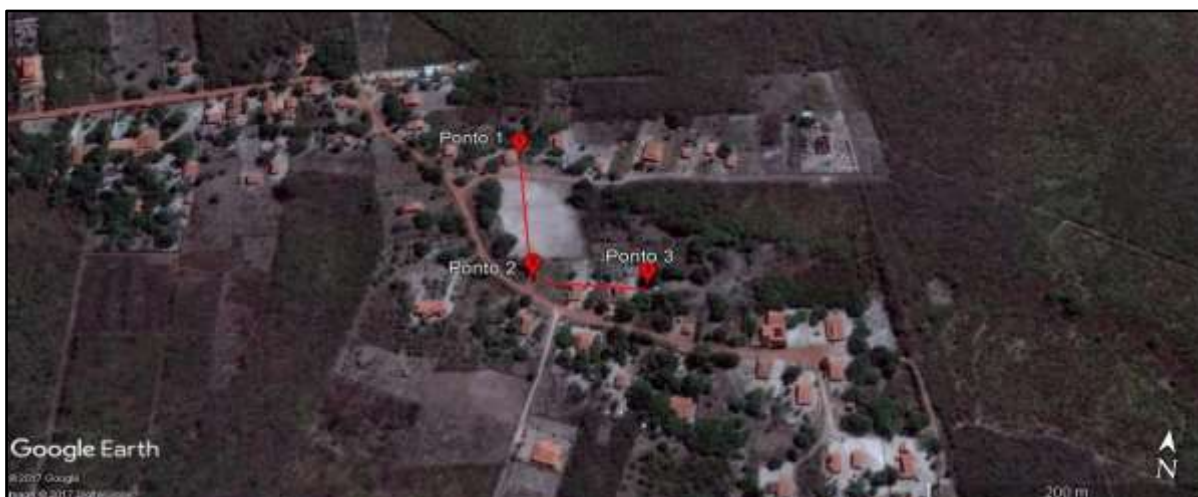
4.3 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA

4.3.1 Coleta das amostras

Inicialmente foram definidos os pontos de coleta das amostras (FIGURA 6), de acordo com sua localização e importância para os moradores da comunidade em estudo, três pontos de coleta distintos (poços artesianos), sendo dois de uso coletivo (pontos 1 e 2) utilizados para o consumo humano, e um de uso particular (ponto 3) que é usado na criação de peixes e na irrigação de hortas orgânicas. As coletas das amostras para análises físico-químicas foram feitas pelo período da tarde em frascos devidamente esterilizados e transportadas para o laboratório de Química do Instituto Federal do Piauí (IFPI) *Campus* Parnaíba.

As amostras para análises microbiológicas foram coletadas em duplicata em tubos falcon devidamente esterilizados em autoclave e condicionadas em uma caixa de isopor com gelo, em seguida transportadas ao laboratório de Núcleo de Pesquisa em Biodiversidade e Biotecnologia – BIOTEC da Universidade Federal do Piauí (UFPI) *Campus* Ministro Reis Veloso. Segundo o método de tubos múltiplos determinou-se o número mais provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes, que se baseia no Manual Prático de Análise de água fornecido pela Funasa (2009).

Figura 7- Pontos de coleta de água dos poços artesianos.



Fonte: Google Earth, (2017).

A localização dos pontos de coleta com suas coordenadas estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2- Coordenadas dos pontos de coleta

Pontos de coleta	Latitude	Longitude
1	2°58'11.98" S	41°44'23.54" O
2	2°58'15.77" S	41°44'22.67" O
3	2°58'15.66" S	41°44'19.77" O

Fonte: Google Earth, (2017).

4.3.2 Análises dos parâmetros físicos

Utilizou-se um “kit de potabilidade” para a realização das análises, pois o mesmo permite a avaliação da qualidade da água segundo os parâmetros estabelecido pelo Ministério da Saúde e Meio Ambiente (OLIVEIRA, 2016). O kit disponibiliza um manual de instruções com cartelas e informações como ficha de monitoramento das análises e maleta para transporte, além dos reagentes e cartela para a comparação visual das análises colorimétricas (turbidez, cor). Os métodos utilizados nas análises dos parâmetros físicos são ilustrados no Quadro 3.

Quadro 3 - Métodos para análises dos parâmetros físicos.

Parâmetro	Método	Referência
Cor aparente	Método do Cloroplatinato de potássio	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; 21º ed. 2005.

Turbidez	Determinação de turbidez LQ: 0,1 NTU	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW); 22º ed. 2012. Method/2012 – Method 2130.
----------	---	---

Fonte: Metodologia analítica Alfakit LTDA, (2018).

4.3.2.1 Cor aparente

A determinação da cor é realizada por comparação visual da amostra com uma solução de Cloroplatinado de Potássio (K_2PtCl_6) e cloreto de cobalto, devido essa solução produzir uma cor semelhante à coloração das águas naturais. A cor aparente é determinada com a amostra bruta, sem filtra-la. O termo “cor aparente” inclui não só substâncias em solução, mas também a matéria em suspensão (PALUDO, 2010).

Mediu-se 50 ml da amostra em uma proveta de vidro, em seguida foi retirado o suporte inferior de plástico da proveta posicionando-a sobre a cartela de comparação de cor, visualizando as cores da amostra corretamente por cima da proveta e anotando o valor indicado na cartela.

4.3.2.2 Turbidez

O método nefelométrico, consiste na detecção da luz que é dispersa em um ângulo de 90° com a luz incidente (VEIGA, 2005). Quanto maior for a intensidade da luz espalhada maior será a turbidez da amostra analisada.

Para análise de turbidez transferiu-se a amostra para uma cubeta grande até a borda tomando cuidado para não derramá-la, em seguida ela foi posicionada sobre a cartela de comparação de cores, visualizando as cores de cima da amostra.

4.3.3 Análises dos parâmetros químicos

Também foi utilizado o “kit de potabilidade” para as análises químicas, realizou-se as análises de alcalinidade, amônia, cloretos, pH e ferro. Os métodos utilizados nas análises químicas são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4- Métodos de análise dos parâmetros químicos. Continua.

Parâmetro	Método	Referência
Alcalinidade	Métodos potenciômetro e titulométrico	NBR 13736.
Amônia	Método do indofenol	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; 21º ed. 2005, 4500 F.
Cloretos	Métodos titulométricos do nitrato mercúrico e do nitrato de prata	NBR 13797.
Ferro	Método do Ácido Tioglicólico	FRIES, J. GETROST, H. Organic Reagents for Trace Analysis, MERCK; 1977.

Fonte: Metodologia analítica Alfakit LTDA, (2018).

Quadro 4 – Métodos de análise dos parâmetros químicos. Conclusão.

pH	Método indicador	A,W.W.A. American Water Works Assu. Processos Simplificados para exame e análise de água, faculdade de saúde pública- universidade de São Paulo; 1970.
----	------------------	--

Fonte: Metodologia Analítica Alfakit LTDA, (2018).

Sendo que para determinação da alcalinidade, cloretos, foram realizadas análises volumétricas, por meio da técnica de titulação e para as análises de pH, amônia e ferro utilizou-se cartelas de comparação visual.

4.3.3.1 Alcalinidade

Consiste em quantificar os íons OH^- e CO_3^{2-} na amostra, por meio de titulação, sendo o indicador mais utilizado a fenolftaleína. Para quantificar os íons HCO_3^- , é possível a utilização de um indicador misto constituído de vermelho de metila e de verde de bromocresol, solubilizados em álcool etílico ou isopropílico (OLIVEIRA, 2016).

Com uma proveta mediu-se 50 mL da amostra e transferiu-se para um frasco de boca larga, em seguida adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína agitando-se a amostra em movimentos circulares, que permaneceu incolor (FIGURA 8 a), anotouse o volume gasto 0 (zero) de alcalinidade parcial. Após essa etapa adicionou-se 5 gotas de indicador misto, verde de bromocresol/vermelho de metila na amostra, que apresentou coloração azul (FIGURA 8 b).

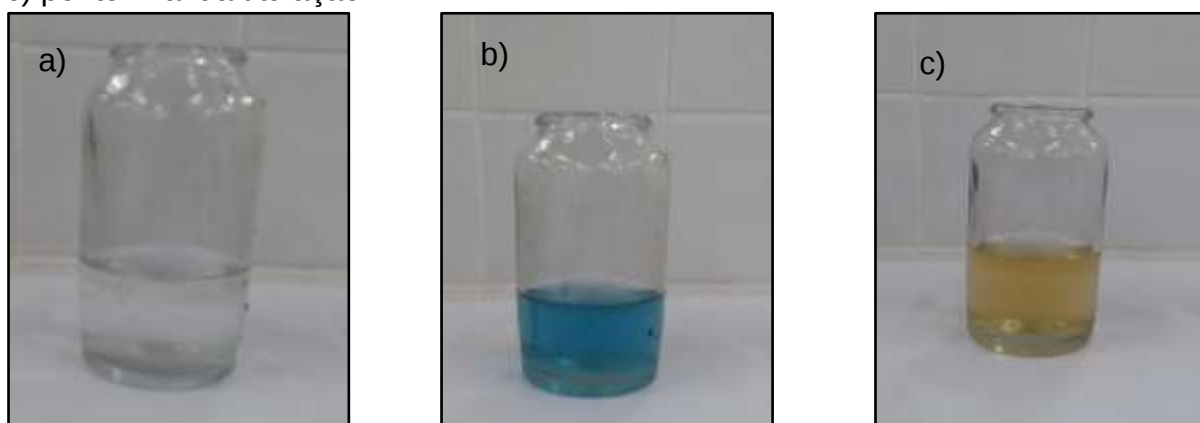
Posteriormente titulou-se a amostra com o reagente de alcalinidade total, o ácido sulfúrico (H_2SO_4) até a mudança da cor azul para a cor salmão (FIGURA 8 c), anotando-se o volume gasto como AT.

De acordo com as Equações (1) e (2) foram obtidos os valores de alcalinidade parcial e total, respectivamente:

$$\text{Alcalinidade Parcial: AP (mg.L}^{-1}\text{ CaCO}_3\text{)} = Vg \times 20 \quad (1)$$

$$\text{Alcalinidade Total: AT (mg.L}^{-1}\text{ CaCO}_3\text{)} = Vg \times 20 \quad (2)$$

Figura 8 - Análise de alcalinidade em: a) aplicação da fenolftaleína; b) indicador misto; c) ponto final da titulação.



Fonte: Acervo pessoal, (2017).

4.3.3.2 Amônia

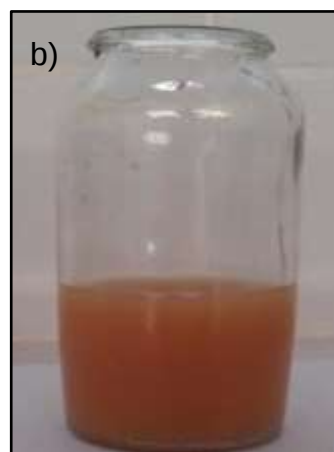
Para análise de amônia as amostras foram transferidas para cubetas pequenas, com volume de 5 ml, em seguida foi adicionado 3 gotas do composto fenólico (fenol), 3 gotas de um agente oxidante (hipoclorito) e 3 gotas do catalizador (nitroprussiato de sódio), fechando e agitando a cubeta a cada adição de reagentes mencionados acima. Passados 10 minutos, posicionou-se a cubeta sobre a cartela de análise colorimétrica, e foi feita a comparação visual da cor apresentada pela amostra.

4.3.3.3 Cloretos

Para a determinação do teor de cloretos, mediu-se 50 ml da amostra com uma proveta e foi transferida para um frasco de boca larga. Posteriormente adicionou-se 1 ml de cromato de potássio (K_2CrO_4) e agitada com movimentos circulares, ficando com a cor amarela (FIGURA 9 a). Em seguida titulou-se a amostra com nitrato de prata ($AgNO_3$), até a mudança de cor, de amarela para amarelo-tijolo (FIGURA 9 b), indicando a formação de cloreto de prata ($AgCl$). Anotou-se o volume gasto (V_g) na titulação e foi calculado a quantidade de cloretos, de acordo com a Equação 3.

$$Cl^- = (mg. L^{-1}. Cl^-) = V_g \times 35 \quad (3)$$

Figura 9 - Cores apresentadas pela amostra durante análise de cloretos em; a) com cromato de potássio e b) ao final da titulação com nitrato de prata.



Fonte: Acervo pessoal, (2017).

4.3.3.4 pH

Adicionando-se um álcali padrão acontece uma reação com os íons hidrogeniônicos presentes na amostra. Sendo que a acidez da amostra depende do pH do ponto final e/ou do indicador utilizado (OLIVEIRA, 2016).

Para a determinação de pH foi transferida a amostra para uma cubeta pequena, até o volume de 5 ml. Adicionou-se 1 gota do reagente de pH (azul de bromotimol), fechando e agitando a cubeta. Em seguida ela foi aberta e posicionada sobre a cartela para análise de comparação colorimétrica.

4.3.3.5 Ferro

Para análise de ferro transferiu-se 5 ml da amostra para uma cubeta pequena e foi adicionado 2 gotas do reagente Tiofer fechando e agitando a cubeta. Passados 10 minutos a cubeta foi aberta e posicionada sobre a cartela para a comparação de cor.

4.3.4 Análises microbiológicas

Segundo o método de tubos múltiplos determinou-se o número mais provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes, que se baseia no Manual Prático de Análise de água fornecido pela Funasa (2009).

De acordo com Yamaguchi et al., (2013), o método de tubo múltiplos (FIGURA 10) permite a caracterização microbiológica da água determinando-se o NMP de coliformes totais e termotolerantes.

Os procedimentos da análise microbiológica foram realizados em condições assépticas em uma Cabine de Segurança Biológica Bioseg, classe II tipo A1, da Veco.

Inicialmente as amostras foram diluídas em água de diluição, que consiste em uma solução preparada contendo Fosfato de Potássio monobásico (KH_2O_4) e Magnésio Hexahidratado ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Em seguida a análise foi processada nas seguintes etapas: o teste presuntivo do NMP de coliformes totais e fecais e teste confirmativo para amostras positivas, bem como a contagem de colônias pelo método *Pour Plate*.

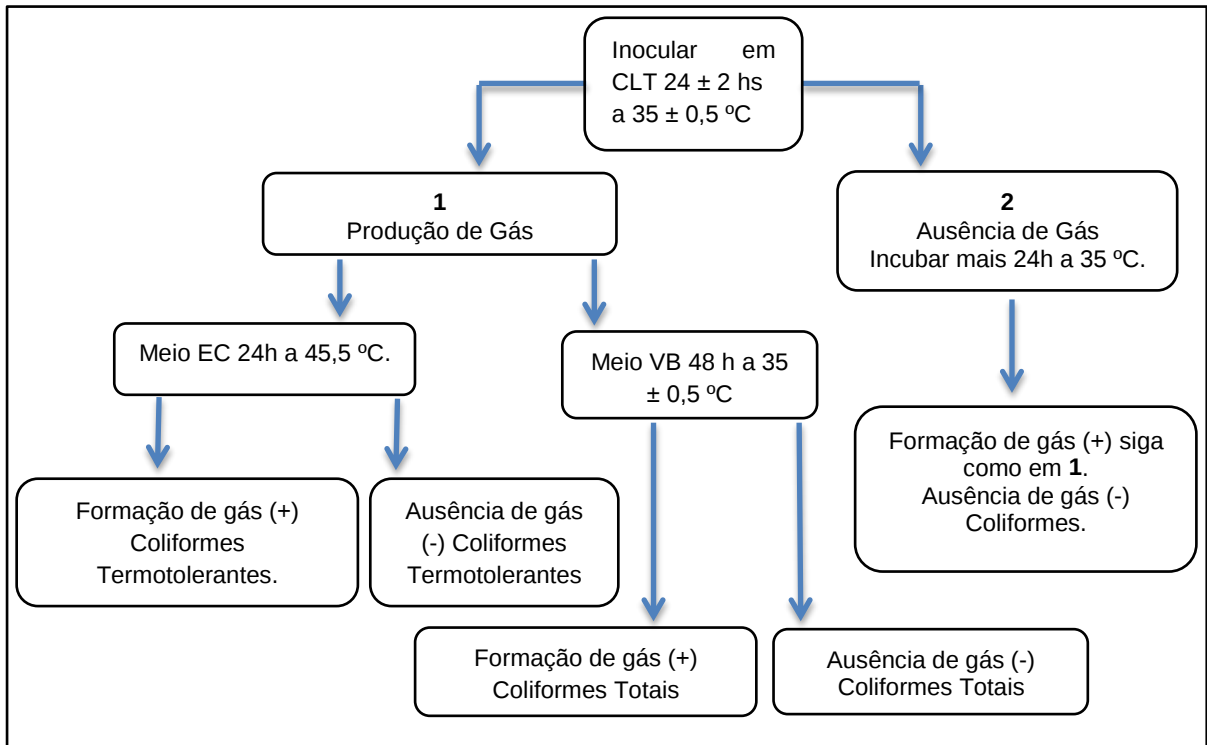


Figura 10 - Método de tubos múltiplos

Fonte: Adaptado de Yamaguchi et al., (2013).

4.3.4.1 Determinação presuntiva do número mais provável (NMP) de coliformes Totais e Fecais.

Inoculou-se as amostras nas proporções de 10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3} consecutivos em cinco tubos de ensaio, contendo 9 mL de *Caldo Lauril Triptosado* da Himedia (CLT) com tubos de Durham invertido. Posteriormente os tubos foram incubados na estufa bacteriológica a uma temperatura de $35\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$ durante 24 horas. Passado esse período de incubação verificou-se se houve a presença de gás, fermentação ou efervescência nos tubos de Durham, evidências da presença de coliformes na amostra, ou seja, positividade do teste presuntivo. Os tubos onde não houve formação de gás foram incubados por mais 24 horas, em seguida examinados e as reações positivas registradas novamente às 48 horas.

Posteriormente foram realizados testes confirmatórios em todos os tubos positivos com presença de gás e anotado a quantidade de tubos positivos determinando-se o NMP/g.

4.3.4.2 Teste confirmatório coliforme total

A partir dos tubos positivos de CLT, com uma alça de platina previamente flambada e fria transferiu-se uma alçada para um tubo de ensaio contendo *Caldo Verde Brilhante* (VB). Os tubos foram incubados a uma temperatura de $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo a positividade do teste avaliada pela turvação e produção de gás depois de um período de 48 horas. O cálculo do número mais provável (NMP) de coliformes foi baseado na proporção de tubos positivos para formação de gás conforme a Tabela de *Hoskins*.

4.3.4.3 Teste confirmatório para coliformes termotolerantes

De cada um dos tubos positivos de CLT a partir do teste presuntivo, transferiu-se uma alçada de cada suspensão para um tubo de Caldo *Escherichia coli* (EC). Os tubos foram incubados por um período de 24 horas a uma temperatura de $45,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ em banho-maria, com a finalidade de analisar a produção de gás. Quando negativo, foram incubados por mais 24 horas e examinados novamente. Os resultados deste teste são utilizados para calcular o número mais provável (NMP) de coliformes fecais ou coliformes a $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (termotolerantes).

4.3.4.4 Contagem padrão em PCA

De cada ponto de coleta selecionado inoculou-se em duplicata alíquotas de 1 ml da amostra bruta, para a contagem padrão em placas com o meio *Plate Count Agar* (PCA). Em seguida adicionou-se as alíquotas cerca de 15 ml do meio estéril em placas de petri pela técnica de *pour plate*, homogeneizando com movimentos em ∞ (infinito) cerca de 10 vezes. Aguardou-se a solidificação do meio, após essa etapa as placas foram incubadas invertidas, em uma estufa microbiológica com temperatura de $35^{\circ}\text{C} \pm 1$ durante 48 horas.

Passado esse período as placas foram retiradas e a quantidade de colônias foi contada, consideraram-se apenas as placas que tiveram ente 25 a 250 colônias para o cálculo. Para a determinação das unidades formadoras de colônias por grama

(UFC/g) o número de colônias foi multiplicado pelo inverso do fator de diluição correspondente.

4.4 TRATAMENTO DOS DADOS

Para uma maior confiabilidade nos resultados obtidos as análises físicoquímicas foram feitas em duplicatas obtendo-se a média aritmética e o desvio padrão, com o auxílio do software Origin 6.0 Professional.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos para as águas de poços artesianos da localidade em estudo foram comparados com o valor máximo permitido (VMP) da Portaria Nº 518/2004 do Ministério da Saúde (MS).

Os resultados das análises serão discutidos adiante.

5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Os valores encontrados com os seus respectivos desvios padrões para os parâmetros físico-químicos analisados das águas de poços artesianos estudadas, estão apresentados na Tabela 3, assim como os limites máximos estabelecidos pela Portaria Nº 518/2004 do Ministério de Saúde.

Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos para as águas dos poços artesianos

PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS				
ANÁLISES	Limites Máximos	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Alcalinidade total (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	**	16 ± 0	234 ± 2,82	227 ± 18,38
Amônia (mg L ⁻¹ NH ₃)	1,5	0,25 ± 0	0,25 ± 0	0,25 ± 0
Cloretos (mg L ⁻¹ Cl ⁻)	250	203 ± 0	203 ± 0	199,5 ± 0
Cor (mg L ⁻¹ Pt/Co)	15	3 ± 0	3 ± 0	3 ± 0
Ferro (mg L ⁻¹ Fe)	0,3	0,25 ± 0	0,25 ± 0	0,25 ± 0
Turbidez (NTU)	5	50 > 100	50 > 100	50 > 100
pH (un. pH)	6,0 à 9,5	6,25 ± 0,35	7,5 ± 0	8,0 ± 0

Fonte: Acervo pessoal, (2017).

A cor e a turbidez são causadas por matérias sólidas em suspensão, inclusive a matéria orgânica, sendo que em geral apresentam valores baixos em águas subterrâneas (VEIGA, 2005). As análises dos parâmetros físicos de cor e turbidez, das amostras apresentaram resultados que se encontram de acordo com os limites estabelecidos pela legislação adotada pelo Ministério da Saúde (TABELA 3), como esses tipos de ensaios são mais estéticos, definem a aceitação ou a negação da água pelo consumidor.

Os teores de amônia de todas as amostras coletadas apresentaram concentração de 0,25 mg.L⁻¹, estando em conformidade com a Portaria Nº 518/2004 do MS, o que indica potabilidade das amostras analisadas. A amônia pode estar presente, naturalmente, em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que, usualmente, sua

concentração é bastante baixa, devido à sua fácil adsorção por partículas do solo ou à oxidação a nitrito e nitrato (COSTA et al., 2015).

Os principais fatores que determinam o pH da água são o consumo e/ou produção de gás carbônico dissolvido e a alcalinidade total, sendo que geralmente o pH das águas subterrâneas varia entre 5,5 e 8,5 (SILVA et al., 2017). Para o pH as amostras apresentarem resultados que estão dentro do limite estabelecido pela legislação adotada de 6,0 a 9,5.

Os parâmetros de alcalinidade, cloretos e ferro serão discutidos adiante em tópicos.

5.1.1 Alcalinidade

As amostras coletadas apresentaram-se nulo para alcalinidade parcial (AP), nos três pontos escolhidos, isso exclui a possibilidade da existência de íons hidróxidos (OH^-) e carbonatos (CO_3^{2-}), no entanto, observou-se a presença de íons de bicarbonatos (HCO_3^-), nos três pontos coletados, representando os valores de alcalinidade total (AT). Segundo Souto et al. (2014) os resultados estão em concordância com os valores de pH, pois como foram inferiores a aproximadamente 8,3, as frações molares de carbonato se aproximam de zero, e além disso, é esperado que a concentração de hidróxido seja muito pequena em comparação com a de bicarbonato nesta faixa de pH.

Sendo que o ponto 1 apresentou a menor concentração de bicarbonato ($16 \text{ mg.L}^{-1} \text{ CaCO}_3$), o que reflete no seu valor baixo de pH. Essa concentração baixa de bicarbonato é resultante da composição do solo onde esse poço foi escavado. A alcalinidade nas águas de poços é devida principalmente à presença de bicarbonato (NETO et al., 2017).

5.1.2 Cloretos

A água que contém concentrações de cloretos menores que 150 mg.L^{-1} é satisfatória para diversos fins, como por exemplo, para consumo humana. Contendo mais de 350 mg.L^{-1} é contraindicada para maior parte das irrigações e usos industriais. Com 500 mg.L^{-1} , o sabor torna-se desagradável (LIMA et al., 2015). Os resultados da análise

das amostras para cloretos estão dentro do limite estabelecido pela legislação adotada nesse estudo, entretanto os valores encontrados foram acima do esperado para águas subterrâneas. Lima et al. (2015) aborda que o íon cloreto está presente em quantidades inferiores a 100 mg.L^{-1} em águas subterrâneas e forma compostos muito solúveis, quando encontrado em concentrações elevadas são indicadores de contaminação por água do mar, por aterros sanitários e esgotos domésticos e industriais.

5.1.3 Ferro

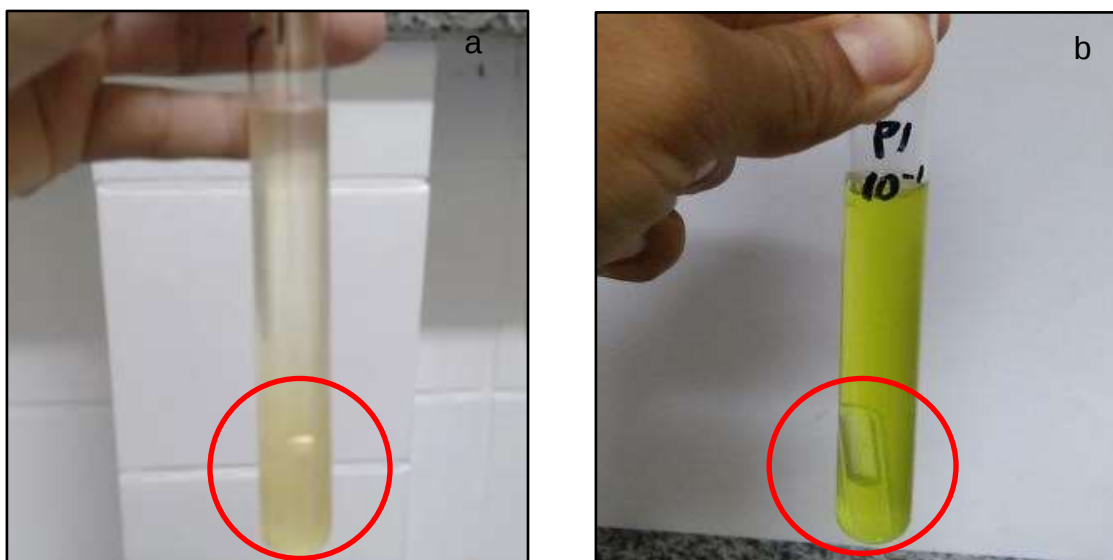
Os valores encontrados para concentração de ferro foi de $0,25 \text{ mg.L}^{-1}$ em todas as amostras coletadas estão próximos do limite estabelecido pela legislação ($0,3 \text{ mg.L}^{-1}$), uma das causas pode ser decorrente da frequente característica das águas subterrâneas apresentar teores elevados de ferro dissolvido, além do mais, por ser um metal de elevada abundância na crosta terrestre e na natureza, acarreta uma poluição dos mananciais devido à lixiviação de solos e rochas cristalinas.

Picanço, Lopes e Souza (2002) em seu estudo concluíram que teores elevados de ferro correlacionados com parâmetros determinantes da dissolução/precipitação do ferro e do desenvolvimento de ferro-bactérias, bem como com as características construtivas dos poços, permitiram identificar alguns fatores para essa ocorrência, entre os quais pode-se destacar o pH, os teores de CO_2 dissolvido e a formação geológica.

5.2 ANÁLISE MICROBIOLOGICA

Nos tubos que continham coliformes observou-se a formação de gás dentro dos tubos de Durham invertido após o período de 24 ou 48 horas como mostra a Figura 11. O grupo dos coliformes tem essa característica de produzir gás decorrente da fermentação da lactose contida no meio, como fonte de energia (EATON, 2005).

Figura 11 – (a) Tubo positivo contendo CLT (*Caldo Lauril Triptosado*) e (b) Tubo positivo contendo Meio VB (*Caldo Verde Brilhante*).



Fonte: Acervo pessoal, (2018).

Nos três pontos analisados, todos os tubos que continham as concentrações de 10^{-1} deram positivos exibindo produção de gás, devido ser a maior concentração utilizada. Para os pontos 1 e 3, nas concentrações de 10^{-2} e 10^{-3} nenhum dos tubos apresentaram formação de gás, sendo assim foram negativos. Já para o ponto 2 em ambas concentrações houve uma maior produção de gás, mesmo em concentrações menores, ou positividade para coliformes totais. Na Tabela 4 pode-se observar a quantidade de tubos positivos, assim como o NMP de coliformes totais presentes nas amostras.

Foi utilizado 5 tubos para cada concentração de meio de cultura, sendo que o cálculo do número mais provável (NMP) de coliformes é baseado na proporção de tubos positivos conforme a Tabela de Hoskins (FUNASA, 2009). Para o teste confirmativo utilizou-se o Caldo Verde Brilhante (FIGURA 11 b) e o Meio EC ou teste de diferenciação de coliformes termotolerantes.

Tabela 4 - Tubos positivos e o NMP de coliformes totais.

Pontos	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	NMP/100 mL
Ponto 1	5	0	0	23
Ponto 2	5	5	2	500
Ponto 3	5	0	0	23

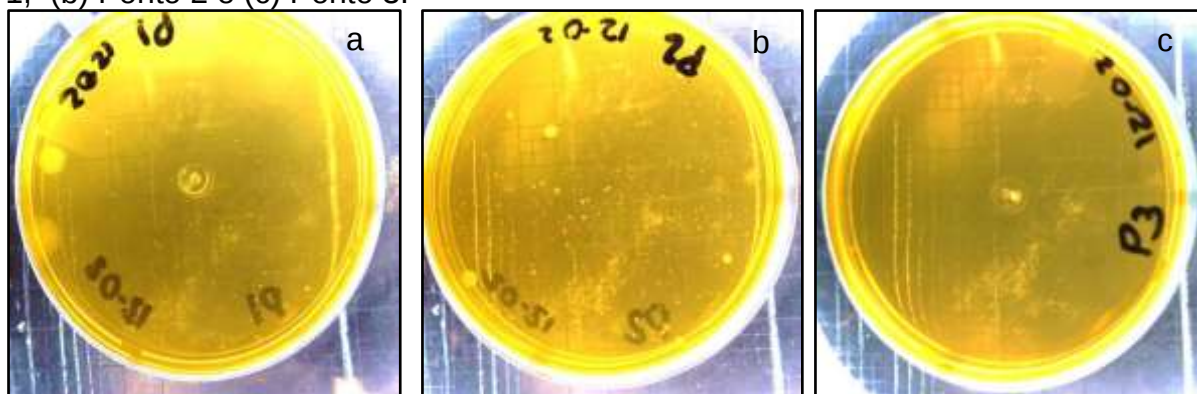
Fonte: Acervo pessoal, (2018).

Para o teste confirmativo utilizando-se o Meio EC (*Escherichia Coli*) todos os tubos deram negativos, excluindo a possibilidade da presença de coliformes termotolerantes

nas amostras analisadas. Pois como se trata de um subgrupo das bactérias do grupo coliforme que tem como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal (BRASIL, 2013).

Para a contagem de bactérias heterotróficas ou coliformes dos pontos selecionados (FIGURA 12), transferiu-se 1 ml das amostras frescas em duplicata para uma placa de petri e foi adicionado o meio Plate Count Agar (PCA) homogeneizando e aguardando-se a solidificação do meio, em seguida incubou-se as placas em uma estufa bacteriológica por 48 horas. Sendo os resultados expressos como número de colônias de bactérias por mL ou Unidades Formadoras de Colônias (UFC) por mL (BRASIL, 2013).

Figura 12 - Placas PCA para os pontos analisados, contagem de colônias: (a) ponto 1; (b) Ponto 2 e (c) Ponto 3.



Fonte: Acervo pessoal, (2018).

Todos os pontos apresentaram crescimento de colônias, sendo que os pontos 1 e 2 apresentaram os maiores valores, que foram de aproximadamente 170 e acima de 300 UFC/mL, respectivamente. Para o ponto 3 as amostras apresentaram números menores de colônias, aproximadamente 71,5 UFC/mL.

Esses valores altos de UFC/mL para o ponto 2 pode estar relacionado com a criação de animais nas proximidades do poço, como suínos, bovinos e aves, que é algo que deve ser observado por questões básicas de higiene, pois facilita a contaminação por excretas dos animais (coliformes), carregados pelo escoamento das chuvas e infiltração no subsolo. A água de escoamento superficial é um dos principais fatores que modifica a qualidade microbiológica da água subterrânea assim como a ausência dos fatores de proteção das fontes: calçada ao redor do poço e tampa e uma distância considerável de fossas sépticas, dentre outros (AMARAL et al., 2003).

Outro motivo para esses valores altos de UFC/mL no ponto 2 pode estar relacionado com as condições precárias de higiene e manutenção que se encontra esse poço como mostrado na Figura 13.

Figura 13 – Poço artesiano correspondente ao ponto 2.



Fonte: Acervo Pessoal, (2018).

Os pontos de estudo se encontram em conformidade com a Portaria nº 518/2004 do MS que estabelece a quantidade de 500 UFC/mL de amostra (BRASIL, 2005). Apesar de que a quantidade de colônias esteja no limite aceitável, os coliformes podem promover irritações intestinais caso sua quantidade seja excedida no organismo, causando infecções intestinais graves (LIBÂNIO, 2010; TOLEDO & NICOLELLA, 2002).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo permitiu uma verificação a respeito da qualidade físico-química e microbiológica da água dos poços artesianos da Localidade Cacimbão, sendo de suma importância visto que parte da população dessa comunidade utiliza esse recurso de maneira complementar e/ou alternativa sem nenhum tratamento convencional (*in natura*).

Os resultados para as análises físico-químicas dos parâmetros de cor, turbidez, amônia e pH dos poços artesianos da Localidade Cacimbão estão dentro dos limites estabelecidos pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, indicando assim que as águas analisadas tem sua qualidade aferida.

Para os parâmetros de alcalinidade, cloretos e ferro as amostras apresentaram valores próximos do limite estabelecido pela Portaria 518/2004 do MS, mas nenhum excedeu o valor máximo permitido.

Em relação às análises microbiológicas as águas de poços estudadas estão em concordância com a Portaria 518/2004 do MS, sendo que houve presença de coliformes totais nas amostras e ausência de coliformes termotolerantes, pois o teste específico para a *Escherichia Coli*, principal representante desse grupo produziu resultados negativos em todas as amostras. No ponto 2 foi evidenciado uma maior quantidade de colônias de bactérias, devido a criação de animais nas proximidades do poço.

Cada vez mais as águas subterrâneas vêm assumindo sua importância no que se refere ao consumo humano, pois o próprio homem cada vez mais vem degradando os recursos superficiais, seja de forma direta, como a contaminação por esgoto doméstico e industrial, e indireto como os fertilizantes utilizados na agricultura e que seu destino final será os rios e lagos, além das águas subterrâneas serem mais protegidas contra essas fontes de poluições.

REFERENCIAS

AMARAL, L. A. et al. **Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais**. Revista Saúde Pública, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 510-514, fev., 2003.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União. Brasília - DF, 1997. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso: 17/02/18.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de Março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília. 18 de Março de 2005. p.58-63.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Portaria MS nº 518/2004** /Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde Ambiental - Brasília, 2005. 28 p.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 396 de 03 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília. 07 de Abril de 2008, Seção 1, p. 64-68.

BRASIL. AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Região Hidrográfica do Parnaíba**. 2013. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/Parnaiba.aspx>>. Acesso: 18/04/17.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). **Manual prático de análise de água**. 4. ed. Brasília : Funasa, 2013. 150 p.

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

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Esplanada dos Ministérios Bloco B. Brasília- DF: Ministério do Meio Ambiente, 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclohidrologico>>. Acesso em: 06/08/17.

BRASIL. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS). **Total de poços cadastrados**. Serviço Geológico do Brasil, 2018. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>>. Acesso em: 17/02/18.

BORGUETTI, N. R. B.; BORGUETTI, J. R.; FILHO, E. F. R. **Aquífero Guarani: A verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba: ABRH, 2004. 214 p.

BORTOLI, J. **Qualidade físico-química e microbiológica da água utilizada para consumo humano e dessedentação animal em propriedades rurais produtoras de leite na Região do Vale do Taquari/RS**. 2016. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento na linha de Pesquisa em Ecologia) - Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2016.

CAPUCCI, E. et al. **Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas: orientação aos usuários**. 1. ed. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001.

CASTRO, E. H.; SILVA, J. L.; FORMIGA, J. O. **Estudo preliminar da potabilidade da água, para o consumo, da rede de abastecimento do Município de HumaitáAM**. In: Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental, 14. 2016, Brasília. Anais, Gestão Ambiental e Políticas Públicas. Brasília: UNB, 2016. p.558564. Disponível em: <<http://soac.unb.br/index.php/ENEEAmb/ENEEAmb2016/paper/viewFile/4985/1191>> . Acesso: 17/02/18.

CELLIGOI, A. **Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas**. Geografia, Londrina, v. 8, n.1, p. 91-97, jan./jun. 1999.

COELHO, S. C. et al. **Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís- MA**. Revista Ambiente e Água, Taubaté, v.12, n. 1, p. 156-167, jan./fev., 2017.

CORNATIONI, M. B. **Análises físico-químicas da água de abastecimento do Município de Colina – SP**. 2010. 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdades Integradas FAFIBE, Bebedouro, 2010.

COSTA, M. C. et al. **Potabilidade da água em poço artesiano na Comunidade Campanha na cidade de Campo Grande – RN**. Global Science and Technology, Rio Verde, v. 08, n.03, p.95 – 100, set/dez. 2015

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. Standard methods for the Examination of water & Wastewater. 21st Edition. 2005.

FAGUNDES, J. P. R.; ANDRADE, A. L. A. **Poços artesianos: uma reflexão na perspectiva da sustentabilidade**. 2015.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. **Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio**. Caderno Saúde Pública, Rio de Janeiro, n. 3, p. 651-660, mai./jun., 2001.

FUNDAÇÃO NACIONAL SAÚDE (FUNASA). **Manual Prático de análise de água**. 3. ed. Brasília, 144p. 2009.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo : Atlas, 2008.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3.ed. Campinas: Editora Átomo. 494p. 2010.

LIMA, Y. F. et al. **Análise de cloreto nas águas subterrâneas do Instituto Federal Catarinense - Campus Camboriú**. In: Feira de Iniciação Científica e Extensão, 6. Camboriú. Santa Catarina: Instituto Federal Catarinense, 2015. p. 110-115.
Disponível em: <http://www.camboriu.ifc.edu.br/fice/Anais_FICE_2015.pdf>. Acesso: 28/01/18.

METODOLOGIA ANALÍTICA ALFAKIT LTDA. Florianópolis – SC, 2018. Disponível em: http://ecocaruaru1.dominiotemporario.com/doc/metodologias_alfakit.pdf. Acesso: 15/03/18.

MONTEIRO, A. B. et al. **Taxonomia Hidrogeológica do estado do Piauí**. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 19., 2016, São Paulo: Revista Águas Subterrâneas, 2016. p. 1- 16. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/search/search?simpleQuery=monteiro+et+al&searchField=authors>>. Acesso: 05/08/17.

MOTTA, É.; FRINHANI, E. M. D. **Qualidade físico-química e microbiológica das águas subterrâneas dos municípios de Ibicaré, Lacerdópolis, Ouro e Capinzal**. Santa Catarina: 2012.

MOTA, L. V. **Caracterização e Tratamento da água do Rio Igarçu para fins industriais**. 2016. 62 f. Monografia (Licenciatura em Química) – Instituto Federal do Piauí – Campus Parnaíba, Piauí, 2016.

NETO, W. R. N. et al. **Análise da potabilidade das águas dos poços rasos escavados da Comunidade do Taim em São Luís – Maranhão**. Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 272-280, mai./jun. 2017.

NOGUEIRA, I. G. **“Base Legal de Águas Subterrâneas e Identificação das Áreas Potenciais de Conflitos para Uso em Minas Gerais.”** 2010. 42 f. Monografia (Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos) - Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2010.

NUNES, T. C. G. et al. **Avaliação dos parâmetros físico-químicos da água subterrânea utilizada nos distritos de campos dos Goytacazes, RJ**. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 16.; Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 17., São Paulo: Revista Águas Subterrâneas, 2010. p.1-20.
Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23161>>. Acesso: 07/08/17.

OLIVEIRA, B. M. B. **Avaliação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas do açude Joana no Município de Pedro II – PI**. 2016.

48 f. Monografia (Licenciatura em Química) – Instituto Federal do Piauí – Campus Parnaíba, Piauí, 2016.

ONU. Departamento de informações públicas das nações unidas. **Fatos sobre água e saneamento**. Rio de Janeiro, jun. 2012.

Disponível em: <<http://onu.org.br/rio20/agua.pdf>>. Acesso: 17/02/18.

PALUDO, D. **Qualidade da água nos poços artesanais do município de Santa Clara do Sul**. 2010 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química Industrial) - Centro Universitário Univates, Lajeado, 2010.

PICANÇO, F. E. L.; LOPES, E. C. S.; SOUSA, E. L. **Fatores responsáveis pela ocorrência de ferro em águas subterrâneas da Região Metropolitana de Belém – PA**. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12. p.1-17. São Paulo: Revista Águas Subterrâneas, 2002. Disponível em:

<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22823/14983>>.

Acesso: 28/01/18.

REBOUÇAS, A. C. **Estágio atual dos conhecimentos sobre águas subterrâneas no Brasil**. Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, v.2, n.1, p.12, Abr. 1980.

Disponível em:

<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/11116/7559>>.

Acesso: 28/01/18.

REBOUÇAS, A. C. **Águas Subterrâneas Fator para o Desenvolvimento**. Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, v.3, n.1. 1981. Disponível em:

<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/11127/7567>>.

Acesso: 28/01/18.

REBOUÇAS, A. C. **Água e desenvolvimento rural**. Estudos Avançados, São Paulo, v.15, n.43. Set/Dez. 2001. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142001000300024>

. Acesso: 28/01/18.

SANTOS, R. S.; MOHR, T. **Saúde e qualidade da água: Análises microbiológicas e físico-químicas em águas subterrâneas**. Revista Contexto e Saúde, Ijuí, v.13, n. 24/25, p. 46- 53, Jan./Jun. 2013 – Jul./Dez. 2013. Disponível em:

<<https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/contextoesaude/article/viewFile/2877/3353>>. Acesso: 29/11/17.

SILVA, A. B. et al. **Parâmetros físico-químicos da água utilizada para consumo em poços artesanais na cidade de Remígio - PB**. Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, v.31, n.2, 109-118, Mar.2017. Disponível em:

<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28807/18715>>.

Acesso: 28/01/18.

SOUSA, E. R. **Noções sobre qualidade da água**. 2001. 29 f. Monografia (Licenciatura em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Lisboa, 2001.

SOUSA, M. M.; SANTOS, A. S. P. **Água potável, água residuária e saneamento no Brasil e Holanda no Âmbito do Programa de Visitação Holandês – DVP: Dutch Visitors Programme.** Engenharia Saneamento Ambiental, v. 21, n. 2, p. 387395, abr/ jun. 2016.

SOUTO, R. T. et al. **Estudo comparativo de modelos de determinação da alcalinidade em amostras de água subterrânea.** In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 18. São Paulo. Revista Águas Subterrâneas, 2014. p.1-20. Disponível em:
<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28285/18398>>.
Acesso: 28/01/18.

TOLEDO, L. G. NICOLELLA, G. **Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano.** *Scientia Agrícola*. v. 59, p. 181-186. 2002.

VASCONCELOS, M. B. **Poços para captação de águas subterrâneas: Revisão de conceitos e proposta de nomenclatura.** In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 18. 2014. São Paulo: Revista Águas Subterrâneas, 2014.p.1-12. Disponível em:
<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28288/18401>>.
Acesso: 13/08/17.

VEIGA, G. **Análises físico-químicas e microbiológicas de água de poços de diferentes cidades da Região Sul de Santa Catarina e efluentes líquidos industriais de algumas empresas da grande Florianópolis.** 2010. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

YAMAGUCHI, et al. **Qualidade microbiológica da água para consumo humano em instituição de ensino de Maringá-PR.** *O Mundo da Saúde*, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 312-320, 2013.