



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFPG  
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE – CES  
UNIDADE ACADÊMICA DE BIOLOGIA E QUÍMICA – UABQ  
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

JENNYFER CAROLINE ROCHA DOS SANTOS

**DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM AMOSTRAS DE  
ÁGUA DE POÇOS DO MUNICÍPIO DE CUITÉ – PB**

CUITÉ - PB

2023

JENNYFER CAROLINE ROCHA DOS SANTOS

**DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM AMOSTRAS DE  
ÁGUA DE POÇOS DO MUNICÍPIO DE CUITÉ – PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Licenciatura em  
Química do Centro de Educação e Saúde da  
Universidade Federal de Campina Grande –  
*Campus Cuité*, como requisito parcial para a  
obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Fabián Velardez

CUITÉ - PB

2023

S237d Santos, Jennyfer Caroline Rocha dos.

Determinação dos parâmetros físico-químicos em amostras de água de poços do município de Cuité - PB. / Jennyfer Caroline Rocha dos Santos. - Cuité, 2023.  
60 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde, 2023. "Orientação: Prof. Dr. Gustavo Fabián Velardez".

Referências.

1. Água. 2. Água - parâmetros físico-químicos. 3. Água - poços - Cuité -PB. 4. Água de poços - qualidade - Cuité - PB. I. Velardez, Gustavo Fabián. II. Título.

CDU 556(043)

JENNYFER CAROLINE ROCHA DOS SANTOS

**DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EM AMOSTRAS DE  
ÁGUA DE POÇOS DO MUNICÍPIO DE CUITÉ – PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Licenciatura em  
Química do Centro de Educação e Saúde da  
Universidade Federal de Campina Grande –  
Campus Cuité, como requisito para a obtenção  
do título de Licenciado em Química.

Julgada e aprovada em:

01 de novembro de 2023.

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente  
 GUSTAVO FABIAN VELARDEZ  
Data: 30/11/2023 10:57:30-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Gustavo Fabián Velardez

Orientador CES/UFCG

Documento assinado digitalmente  
 JULIANO CARLO RUFINO DE FREITAS  
Data: 30/11/2023 11:54:17-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas

Examinador CES/UFCG

Documento assinado digitalmente  
 JOSE CARLOS OLIVEIRA SANTOS  
Data: 01/12/2023 07:34:12-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. José Carlos Oliveira Santos

Examinador CES/UFCG

Expresso minha gratidão a Deus pelas bênçãos concedidas e à minha família, em especial à minha mãe, Maria Santos, por todo o amor, apoio e incentivo que sempre me dedicaram. Além disso, quero prestar homenagem ao meu pai, que, embora não esteja mais fisicamente presente entre nós, continua a cuidar de mim lá do céu.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me capacitar com a força e a orientação para alcançar este marco em minha vida acadêmica.

À minha família, em especial a minha mãe, Maria Santos, pelo amor incondicional, incentivo constante e pelos sacrifícios feitos para que eu pudesse perseguir meus estudos. Vocês são minha inspiração.

Ao meu professor orientador Gustavo Velardez, cuja expertise e orientação foram fundamentais para a realização deste trabalho. Suas sugestões e críticas construtivas foram inestimáveis.

Aos colegas e amigos que compartilharam comigo os desafios e triunfos da vida acadêmica, em especial ao meu grupo da chacota, Liliane Gomes, Camila Oliveira, Fernando Silva, Lidiane Araújo e Leandro Malaquias, vocês tornaram essa jornada mais leve, enriquecedora e prazerosa.

Expresso meu agradecimento aos professores Juliano Freitas e José Carlos Santos por aceitarem o convite para fazerem parte da banca do meu TCC. Quero estender meus agradecimentos a todos os docentes do CES/UFMG que, de maneira direta e indireta, contribuíram para a minha trajetória acadêmica e formação.

Aos participantes da pesquisa, que generosamente dedicaram seu tempo e conhecimento para contribuir com este estudo.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste projeto, mesmo que não estejam mencionadas aqui, meu profundo agradecimento.

Este TCC é o resultado de um esforço coletivo, e a todos os envolvidos, expresso minha profunda gratidão. Muito obrigado!

*"Aquele que tentou e nada conseguiu é superior  
àquele que não tentou."*

(BUD WILKINSON).

## RESUMO

A água é uma substância essencial para a preservação da vida e desempenha um amplo espectro de funções na rotina diária das pessoas. No entanto, para consumo humano, é imprescindível que a água esteja em conformidade com os padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde. Nesse sentido, torna-se imperativo realizar análises dos aspectos físico-químicos desta água e, assim, verificar sua segurança para consumo humano. No Brasil, particularmente a região do Semiárido sofre de maneira mais acentuada com a carência de recursos hídricos, forçando, em muitas ocasiões, a população a utilizar fontes de água de qualidade duvidosa devido às necessidades prementes. Conseqüentemente, o propósito deste estudo foi avaliar a qualidade da água proveniente de poços localizados no município de Cuité, Paraíba, por meio da análise dos parâmetros físico-químicos conforme estipulados nas Portarias n.º 5/2017 e n.º 888/2021 do Ministério da Saúde, com base em amostras de água coletadas em março de 2023. O intuito é fornecer informações acerca da qualidade da água que é distribuída para o abastecimento da cidade, tanto para a população em geral como para as autoridades locais. Nesse contexto, foram efetuadas medições dos seguintes parâmetros: pH, condutividade, alcalinidade, dureza, turbidez e concentração de cloretos. Isso permitiu observar que, dentre as amostras analisadas, os níveis de pH e cloretos não se enquadravam nos limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde. No que se refere à dureza total, as amostras I, III e IV excederam o valor máximo permitido. Quanto aos outros parâmetros, as amostras coletadas demonstraram níveis aceitáveis para a potabilidade. Com base nos resultados obtidos, ficou claro que as águas provenientes destes poços não atendem aos padrões de qualidade necessários para consumo humano e, conseqüentemente, não deveriam ser utilizadas para o abastecimento da população.

**Palavras-chave:** águas subterrâneas, análise físico-química, consumo humano, potabilidade da água.

## ABSTRACT

Water is an essential substance for the preservation of life and performs a wide spectrum of functions in people's daily routine. However, for human consumption, it is essential that the water complies with the standards established by the Ministry of Health. In this sense, it is imperative to carry out analyzes of the physical-chemical aspects of this water and, thus, verify its safety for human consumption . In Brazil, particularly the Semiarid region, it suffers most from the lack of water resources, forcing, on many occasions, the population to use water sources of dubious quality due to pressing needs. Consequently, the purpose of this study was to evaluate the quality of water coming from wells located in the municipality of Cuité, Paraíba, through the analysis of physical-chemical parameters as stipulated in Ordinances No. 5/2017 and No. 888/2021 of the Ministry of Health, based on water samples collected in March 2023. The aim is to provide information about the quality of water that is distributed to supply the city, both to the general population and to local authorities. In this context, measurements were made of the following parameters: pH, conductivity, alkalinity, hardness, turbidity and chloride concentration. This made it possible to observe that, among the samples analyzed, the pH and chloride levels did not meet the limits established by the Ministry of Health. With regard to total hardness, samples I, III and IV exceeded the maximum value allowed. As for other parameters, the samples collected demonstrated acceptable levels for potability. Based on the results obtained, it was clear that the water from these wells does not meet the quality standards necessary for human consumption and, consequently, should not be used to supply the population.

**Keywords:** groundwater, physical-chemical analysis, human consumption, water potability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Localização do município de Cuité - PB. ....	30
<b>Figura 2:</b> Pontos de coleta das amostras .....	31
<b>Figura 3:</b> pHmetro utilizado para medir o pH das amostras .....	33
<b>Figura 4:</b> Condutivímetro utilizado para medir a CE das amostras.....	34
<b>Figura 5:</b> Fluxograma da análise de Alcalinidade .....	34
<b>Figura 6:</b> Fluxograma da análise de Dureza.....	35
<b>Figura 7:</b> Turbidímetro utilizado nas medidas de turbidez .....	36
<b>Figura 8:</b> Fluxograma da análise de Cloretos.....	37
<b>Figura 9:</b> Indicador Murexida .....	44
<b>Figura 10:</b> Indicador NET.....	44
<b>Figura 11:</b> Formação do complexo cálcio - EDTA .....	44
<b>Figura 12:</b> Titulação de neutralização.....	48
<b>Figura 13:</b> Titulação com $\text{AgNO}_3$ .....	50

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Amostras e seus respectivos locais de coleta.....	31
<b>Tabela 2:</b> Medidas de pH para as amostras coletadas.....	38
<b>Tabela 3:</b> Medidas de CE para as amostras coletadas.....	40
<b>Tabela 4:</b> Medidas de Turbidez para as amostras coletadas.....	41
<b>Tabela 5:</b> Classificação da dureza das águas naturais.....	43
<b>Tabela 6:</b> Medidas de Dureza para as amostras coletadas. ....	46
<b>Tabela 7:</b> Medidas de Alcalinidade para as amostras coletadas.....	48
<b>Tabela 8:</b> Medidas de Cloretos para as amostras.....	51

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Comparação das medidas de pH para as amostras coletadas .....	39
<b>Gráfico 2:</b> Comparação das medidas de CE para as amostras coletadas .....	40
<b>Gráfico 3:</b> Comparação das medidas de Turbidez para as amostras coletadas .....	42
<b>Gráfico 4:</b> Comparação da dureza total, dureza de $\text{Ca}^{2+}$ e dureza de $\text{Mg}^{2+}$ nas amostras coletadas .....	47
<b>Gráfico 5:</b> Comparação entre os valores de alcalinidade medidos .....	49
<b>Gráfico 6:</b> Comparação entre os teores de cloro apresentados pelas amostras coletadas .....	52

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas
ANA	Agência Nacional das Águas
APHA	<i>American Public Health Association</i>
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
CE	Condutividade Elétrica
CES	Centro de Educação e Saúde
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FUNASA	Fundação Nacional da Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
MS	Ministério da Saúde
NET	Negro de Eriocromo T
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez ( <i>Nephelometric Turbidity Unit</i> )
PET	Politereftalato de etileno
SABESP	Saneamento Básico do Estado de São Paulo
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
UT	Unidades Turbidimétricas
VMP	Valor Máximo Permitido
WEF	<i>Water Environment Federation</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Grau Celsius
Ca <sup>2+</sup>	Íon Cálcio (II)
CaCO <sub>3</sub>	Íon Carbonato de cálcio
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Íon Carbonatos
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
g/mol	Gramas por mol
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	Íon hidrônio
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Íon Bicarbonatos
Km	Quilômetro
Km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
m	Metro
Mg <sup>2+</sup>	Íon Magnésio (II)
Mg/L	Miligramas por litro
mL	Mililitro
OH <sup>-</sup>	Íons hidróxidos
pH	Potencial Hidrogeniônico
mS/m	Milisiemens por metro
K	Kelvin
μS.cm <sup>-1</sup>	Microsiemens por centímetro
hab.	Habitantes
KCl	Cloreto de Potássio
Ag <sup>+</sup>	Íon Prata
AgNO <sub>3</sub>	Nitrato de Prata
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Cromato de Potássio
Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	Cromato de Prata
Cl <sup>-</sup>	Íon Cloro
σ <sub>v</sub>	Desvio Padrão
<	Menor que
>	Maior que
≤	Menor ou igual

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	17
2 OBJETIVOS .....	20
2.1 Objetivo Geral.....	20
2.2 Objetivos Específicos.....	20
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
3.1 Água .....	21
3.2 Águas subterrâneas.....	22
3.3 Poços Artesianos como fonte de água potável .....	23
3.4 Aspectos físico-químicos da água.....	23
3.4.1 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	25
3.4.2 Condutividade elétrica (CE) .....	26
3.4.3 Turbidez.....	26
3.4.4 Dureza total.....	27
3.4.5 Cloretos.....	28
3.4.6 Alcalinidade .....	28
4 METODOLOGIA .....	30
4.1 Área de estudo .....	30
4.2 Coleta das amostras.....	30
4.3 Caracterização dos parâmetros Físico-Químicos.....	32
4.3.1 pH.....	33
4.3.2 Condutividade Elétrica .....	33
4.3.3 Alcalinidade .....	34
4.3.4 Dureza total.....	35
4.3.5 Turbidez.....	36
4.3.6 Teor de Cloro .....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	38
5.1 Caracterização dos parâmetros: pH, Condutividade e Turbidez.....	38
5.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	38
5.1.2 Condutividade Elétrica .....	39
5.1.3 Turbidez.....	41
5.2 Caracterização do parâmetro: Dureza .....	42

5.3 Caracterização do parâmetro: Alcalinidade.....	47
5.4 Caracterização do parâmetro: Cloretos .....	49
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	53
REFERÊNCIAS .....	54

## 1 INTRODUÇÃO

A água é uma substância de extrema importância para a existência e manutenção da vida. Indiscutivelmente, a água é o recurso mais amplamente utilizado em todo o mundo e sua qualidade é de importância fundamental para proteger a saúde pública, tornando o monitoramento da contaminação na distribuição uma medida de prevenção crucial. Essa vigilância representa a primeira barreira na identificação de potenciais ameaças associadas ao contato com água de baixa qualidade, visando à proteção da população (LUCENA, 2018).

A água na Terra se divide principalmente em duas categorias: água doce e água salgada, sendo que apenas uma pequena parcela, equivalente a 2,5%, é classificada como água doce. Dessa fração, a maior parte está congelada nas regiões do Ártico, da Antártica e nas montanhas, representando cerca de 68,9% do total de água doce disponível. Aproximadamente 29,9% da água doce está armazenada em aquíferos, enquanto 0,9% encontra-se em pântanos, *permafrost* (Tipo de solo, composto de terra, rochas e sedimentos, que se mantém permanentemente gelado, nomeadamente na região ártica) e na umidade do solo. Apenas uma mínima porção, equivalente a 0,3%, está presente na superfície da Terra (SILVA; PEREIRA, 2019).

A forma líquida da água desempenha um papel fundamental na vida, sendo um componente essencial que se encontra nos organismos vivos, desde animais até plantas e no próprio corpo humano, fluindo em níveis microscópicos (XAVIER, 2008). “A degradação da água tem efeitos dramáticos sobre a fauna, a flora e a saúde do homem. O desinteresse sobre a poluição da água favorece a contaminação alarmante dos lençóis subterrâneos, dos rios e das águas costeiras” (GEO MÚNDI, 2007).

Ao considerar o processo de preservação da água em nosso planeta, Martins (2003), salienta:

Vem de muitas décadas o interesse dos economistas pela água. Debruçados sobre as fontes de recursos naturais e riquezas, muitos cientistas econômicos se dedicaram a dimensionar a escassez e calcular o impacto da exploração descontrolada de reservas disponíveis na natureza. Hoje, teses e monografias estão brotando nos centros de pesquisas e universidades descrevendo uma realidade preocupante (MARTINS, 2003, p. 2A).

Há duas categorias distintas de escassez de água, por exemplo, a escassez econômica gerada devido à falta de investimentos, sendo caracterizada por deficiências na infraestrutura e desigualdades na distribuição de recursos hídricos, e a escassez física quando os recursos hídricos não conseguem suprir a demanda da população. Geralmente, as regiões áridas são as mais associadas à escassez física, com cerca de 25% da população global vivendo em bacias

hidrográficas afetadas por essa carência. Além disso, aproximadamente um bilhão de pessoas reside em bacias hidrográficas, onde a água é economicamente escassa.

Se considerarmos o conjunto completo de reservas hídricas, sem levar em conta as variações regionais, o Brasil desfruta de uma posição extremamente favorável em termos de disponibilidade de água. O Brasil possui mais da metade de toda a água disponível na América do Sul e contém aproximadamente 13% do total de recursos hídricos no mundo. Além disso, o Brasil detém cerca de dois terços de um importante reservatório subterrâneo que se estende sob os países do Mercosul, com uma extensão maior do que a soma dos territórios da Inglaterra, França e Espanha (CIRILO, 2015).

A situação torna-se complicada quando consideramos a quantificação dos recursos hídricos nas várias regiões do Brasil. O país enfrenta desafios significativos relacionados à distribuição desigual desses recursos em níveis intra e inter-regionais. Isso resulta em situações de escassez e abundância de água, além da degradação causada pela poluição, proveniente tanto de fontes domésticas quanto industriais. A escassez de água é particularmente evidente na região Nordeste, especialmente na parte do território que é caracterizada como semiárida (CIRILO, 2015).

A região semiárida do Nordeste do Brasil se destaca pela sua carência de recursos hídricos, resultante tanto da escassez de chuvas quanto da gestão inadequada desse recurso (BRASIL, 2018). Portanto, para assegurar o fornecimento de água, é essencial estabelecer infraestruturas adequadas para o armazenamento desse recurso. Além disso, uma gestão eficiente dos recursos hídricos é crucial para garantir a disponibilidade de água para os diversos usos, atendendo assim às demandas da população (CGEE, 2012).

A área geográfica conhecida como Semiárido, embora abrigue uma parcela significativa da população do Brasil, representando aproximadamente 12% da população total do país, o que corresponde a cerca de 27.830.765 habitantes (SUDENE, 2017), dispõe de apenas 3% da água doce disponível no território nacional (INSA, 2015), no entanto, as questões relacionadas ao Semiárido não se limitam apenas à escassez de água, pois em muitas situações, a qualidade dessa água também é um fator de preocupação (ALMEIDA, 2017).

Nesse contexto, é importante destacar que o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu, por meio da resolução nº 357, de 17 de março de 2005, que a qualidade da água pode variar dependendo de sua finalidade, seja para consumo humano, irrigação ou outros usos específicos (CONAMA, 2005). Entretanto, é comum que, em diversas situações, a água não atenda aos requisitos estabelecidos pelo Ministério da Saúde em termos

de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, o que a torna inadequada para a finalidade pretendida (BRASIL, 2017).

Neste contexto, o objetivo deste estudo é conduzir uma avaliação dos parâmetros físico-químicos de amostras de água provenientes de poços localizados no município de Cuité, Paraíba, que servem como fonte de abastecimento para a cidade. As análises realizadas abrangem a medição do pH, condutividade elétrica, alcalinidade, dureza, turbidez e teor de cloro na água desses poços. Essas medições visam fornecer informações cruciais sobre a qualidade da água disponível para consumo e outros fins no município.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Realizar uma análise da qualidade da água proveniente de poços localizados no município de Cuité – PB.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar a coleta da água de poços da cidade de Cuité – PB;
- Avaliar os parâmetros físico-químicos (pH, Condutividade Elétrica, Alcalinidade, Dureza, Turbidez e Cloretos) das amostras de água provenientes de poços;
- Analisar os resultados obtidos, comparando-os com os padrões para potabilidade de água estabelecidos pelo Ministério da Saúde, através das Portarias n.º 5/2017 e n.º 888/2021.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Água

Segundo a ANA 2020 (Agência Nacional de Águas), a água é a substância mais amplamente distribuída na superfície terrestre. Ela é uma substância química composta por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio. A água, no estado líquido, cobre aproximadamente 71% da superfície do nosso planeta Terra e desempenha um papel fundamental como o principal componente dos organismos vivos. É notável que o nosso planeta consiste em cerca de três quartos de água, englobando tanto água doce quanto salgada, enquanto apenas um quarto da superfície é constituído de terra, compreendendo continentes e ilhas.

A água adequada para o consumo humano é a água doce, e ela constitui apenas 2,5% do volume total de água do planeta. Deste percentual, somente 1,0% é água doce de superfície, enquanto o restante está localizado nas camadas subterrâneas, tornando sua acessibilidade mais desafiadora. A grande maioria, equivalente a 97,5%, consiste em água salgada presente nos mares e oceanos (SABESP, 2015).

Conforme mencionado por BARLOW (2015), a água é a substância líquida mais amplamente distribuída em nosso planeta e desempenha um papel indispensável na sustentação da vida de plantas, animais e microrganismos. Sua função é insubstituível nesse contexto, atuando como veículo para o transporte de substâncias essenciais aos organismos e como *habitat* para os seres que habitam rios e lagos.

Conforme informado pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2017), a água desempenha um papel central no avanço socioeconômico de uma nação. Ela não só é vital para as atividades do cotidiano, mas também desempenha um papel de suma importância nos setores agrícola e industrial. Portanto, uma crise hídrica pode ter um impacto significativo no processo de industrialização e na produção de alimentos, potencialmente desencadeando uma desaceleração econômica subsequente. Além disso, o uso da água está diretamente relacionado ao processo de urbanização de um país ou região, tornando-a uma variável crítica no planejamento e desenvolvimento.

Segundo a *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO, 2018), em um cenário próximo, devido ao crescimento populacional global e ao uso ineficiente e desregulado dos recursos hídricos, é previsto que a demanda por água será maior para fins industriais e uso doméstico do que para a agricultura, que historicamente tem sido a principal consumidora. Isso indica uma mudança significativa nas tendências de uso da

água e destaca a necessidade de um gerenciamento mais eficiente e sustentável dos nossos recursos hídricos.

Embora a água seja um recurso amplamente disponível na Terra e desempenhar um papel vital e insubstituível na manutenção da vida, existe uma crescente preocupação com a sua conservação. Essa preocupação é devido a água ser um recurso finito, o que nos leva a reconhecer a necessidade premente de conscientização na sociedade sobre o uso responsável dos recursos hídricos. A busca por garantir que a água esteja disponível para consumo de todos requer uma abordagem reflexiva e competente na gestão desse recurso (ROSA; GUARDA, 2019).

### **3.2 Águas subterrâneas**

Os recursos hídricos subterrâneos desempenham um papel fundamental como uma reserva estratégica de água para atender às necessidades atuais e futuras. Isso ocorre porque eles representam uma quantidade de água aproximadamente 100 vezes maior do que a disponível em corpos d'água superficiais em todo o mundo (BORGHETTI, 2004).

Carvalho (2012) ressalta que o processo natural de recarga das águas subterrâneas é mediado pela infiltração de parte ou até mesmo da totalidade das águas pluviais que caem sobre áreas não inundadas. Esse processo evolui gradualmente ao longo do tempo, indicando um equilíbrio hidrodinâmico. No entanto, esse equilíbrio pode ser perturbado quando há ocupação e uso desordenado do solo, o que acaba modificando as propriedades físicas do ambiente.

De acordo com Rebouças (2002), em geral, a utilização de água subterrânea é a opção mais econômica. Isso ocorre porque, quando essa água está disponível em camadas abaixo do solo não saturado, ela pode ser acessada e utilizada sem a necessidade dos custos significativos associados à captação de água de rios e lagos, bem como aos processos de distribuição e tratamento usualmente envolvidos nesse tipo de abastecimento hídrico.

As águas subterrâneas desfrutam de uma camada natural de proteção, geralmente composta por solo, rochas e suas variações. Isso as torna menos suscetíveis à contaminação em comparação com as águas superficiais, efetivamente operando como reservatórios de água mais seguros. No entanto, é importante destacar que, quando ocorre a contaminação das águas subterrâneas, o processo de descontaminação se torna uma tarefa árdua e dispendiosa (MARION, 2006).

### **3.3 Poços Artesianos como fonte de água potável**

As fontes de água subterrânea se configuram como uma reserva estratégica e uma opção crucial para atender às necessidades presentes e vindouras de abastecimento hídrico. Isto se deve ao fato de que elas disponibilizam uma quantidade aproximadamente 100 vezes superior àquela encontrada nas águas de superfície em todo o globo (BORGHETTI, 2004).

Atualmente, essa fonte de água subterrânea se torna cada vez mais relevante, especialmente quando se enfrenta a escassez de recursos hídricos, como é o caso de certas áreas do Nordeste do Brasil. Nessas regiões, caracterizadas por um clima semiárido com temperaturas elevadas e baixo índice pluviométrico, o que resulta em prolongadas estiagens e no esgotamento de boa parte das fontes de água na superfície.

O poço subterrâneo é obtido através de uma perfuração que apresenta dimensões reduzidas em sua abertura e atinge grande profundidade, “quando as águas fluem naturalmente do solo em um aquífero denominado confinado (totalmente preenchido de águas, cujo teto e piso são fragmentos impermeáveis) até chegar ao nível superior, caracteriza-se a existência de um poço artesiano” (ROCHA; LOPES, 2015).

Quando a pressão natural do poço não é suficiente para elevar a água até a superfície, e, portanto, requer o uso de bombas, ele é conhecido como semi-artesiano. Além disso, tanto os poços artesianos quanto os semi-artesianos são tecnicamente referidos como poços tubulares profundos. Ambos são criados por meio de uma perfuração realizada com uma broca especial, usando uma máquina de perfuração de grande porte, desenvolvida pela indústria de petróleo (HIRATA, 2002).

### **3.4 Aspectos físico-químicos da água**

De acordo com a AWWA (2006), as propriedades físicas, químicas, biológicas e radiológicas das águas estão intimamente ligadas a uma série de processos que ocorrem tanto dentro do corpo d'água quanto em sua bacia hidrográfica. Isso ocorre como resultado das notáveis capacidades de dissolução e transporte que a água possui, permitindo que uma vasta gama de substâncias seja solubilizada e transportada por meio do escoamento superficial e subterrâneo. Esses processos desempenham um papel fundamental na determinação das características da água em diferentes contextos ambientais.

As propriedades físicas da água estão relacionadas à sua aparência e à percepção subjetiva, abrangendo parâmetros como cor, temperatura, sabor e odor. No entanto, é

importante ressaltar que a preferência por água com boa aparência visual ou ausência de odor não é suficiente para garantir sua qualidade adequada para consumo humano. Por outro lado, as características químicas da água estão diretamente ligadas à presença de substâncias dissolvidas que podem afetar parâmetros como acidez, alcalinidade e pH. Além disso, essas características químicas são cruciais para a detecção de possíveis contaminantes, como metais pesados, que podem estar presentes na água e representar riscos à saúde. Portanto, a avaliação das características físicas e químicas da água desempenha um papel fundamental na determinação de sua qualidade para consumo humano (TELLES; COSTA, 2007).

A qualidade da água é influenciada por fatores naturais, como o contato com partículas, substâncias e impurezas presentes no solo, que ocorrem devido ao escoamento e à infiltração da água da chuva. Além disso, a atuação humana também desempenha um papel significativo na alteração da qualidade da água, devido à geração de resíduos domésticos e industriais, bem como ao uso de agrotóxicos e fertilizantes, que podem ser transportados e incorporados à água, impactando sua composição e propriedades (SPERLING, 2017).

Com o objetivo de estabelecer diretrizes para a qualidade e potabilidade da água, foram desenvolvidas regulamentações que definem parâmetros e seus respectivos valores de referência, abordando as características físicas, químicas, biológicas e radiológicas da água. Essas regulamentações desempenham um papel fundamental na garantia da segurança e adequação da água para o consumo humano (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021).

Os parâmetros físico-químicos da água destinada ao consumo humano desempenham um papel fundamental na garantia da sua qualidade. É imperativo que a água fornecida aos consumidores atenda a todos os requisitos estabelecidos nas leis vigentes, uma vez que o consumo de água contaminada ou que não atenda aos padrões de potabilidade representa um sério risco para a saúde humana. Portanto, é necessário que a água passe por processos de tratamento para assegurar sua qualidade e evitar qualquer tipo de contaminação que possa afetar suas propriedades e segurança para o consumo (CARVALHO, 2016).

De acordo com a Portaria de Consolidação n.5/2017 (BRASIL, 2017) e a na Portaria n.º 888/2021 (BRASIL, 2021), é estipulado que a água destinada ao consumo humano deve ser potável, ou seja, adequada para ingestão, preparação de alimentos e higiene pessoal, independentemente da sua origem. Neste contexto, a água potável é definida como aquela que atende aos critérios de potabilidade estabelecidos nestas Portarias, não apresentando riscos à saúde humana. Para atender a esses critérios, a água deve obedecer aos limites máximos estipulados para parâmetros físico-químicos e microbiológicos, além de estar isenta de qualquer presença de microrganismos patogênicos e bactérias que indiquem contaminação. As Portarias

n.º 5/2017 e n.º 888/2021 também destacam a importância de considerar o histórico de resultados de análises dos parâmetros físico-químicos para determinar se a amostra de água está ou não em conformidade com os padrões estabelecidos por essa regulamentação.

A Portaria n.º 5/2017 destaca os parâmetros microbiológicos definidos como requisitos para que a água seja considerada potável para consumo humano. Para atender a essas diretrizes, a água submetida à análise deve mostrar ausência de *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes em um volume de 100 mL. Após o processo de tratamento, a água deve estar isenta de coliformes totais em um volume de 100 mL. Além disso, os reservatórios e sistemas de armazenamento e distribuição de água tratada também devem ser livres de *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes em 100 mL (BRASIL, 2017).

A regulamentação específica sobre a qualidade da água destinada ao consumo no Brasil (2017) também define uma série de parâmetros físico-químicos que devem ser atendidos ao analisar e classificar a água quanto à sua potabilidade. Estes critérios incluem: O pH (Potencial Hidrogeniônico) da água deve estar dentro da faixa de 6.0 a 9.5; A turbidez da água deve ser no máximo 5 NTU.

### **3.4.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)**

O pH é uma medida que indica a concentração de íons hidrogênio ou hidrônio em uma solução, e é determinado pelo logaritmo da concentração molar dos íons  $H_3O^+$  na solução. Esse parâmetro desempenha um papel fundamental em diversas etapas dos processos de tratamento de água, incluindo coagulação, desinfecção, abrandamento, controle da corrosão e tratamento de efluentes industriais. Ele é essencial para garantir a eficácia dessas operações e a qualidade da água tratada ou do efluente final (FUNASA, 2014).

Quando o pH é inferior a 7, a água é classificada como ácida, e quando é superior a 7, é considerada alcalina. A água com um pH igual a 7 é considerada neutra, em condições de temperatura de 298 K (25°C). Esse equilíbrio ácido-base é fundamental para muitos processos e aplicações envolvendo a água (que vai desde o tratamento de água para consumo humano até a agricultura, a indústria, o tratamento de efluentes e sistemas aquáticos, garantindo o funcionamento adequado de reações químicas e processos biológicos, bem como a qualidade da água e do solo), afetando diretamente suas características e comportamento químico (CHANG; GOLDSBY, 2013).

É essencial manter o controle do pH da água, a fim de garantir um equilíbrio adequado dos carbonatos presentes e evitar a ocorrência de consequências indesejadas, como a elevação da acidez na água (BRASIL, 2006).

### **3.4.2 Condutividade elétrica (CE)**

A CE refere-se à capacidade da água de conduzir eletricidade e está diretamente relacionada à presença de íons dissociados na água. Embora a condutividade elétrica não revele a identidade específica dos íons presentes em uma amostra de água, ela desempenha um papel importante na detecção de potenciais impactos ambientais que podem ocorrer na bacia de drenagem, especialmente aqueles causados por descargas de resíduos industriais (LIBÂNIO, 2016).

A regulamentação não define um limite máximo para a Condutividade Elétrica (CE), porém, em águas doces, a CE geralmente varia de 10 a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (BRASIL, 2006). Apesar de não ser um dos parâmetros monitorados nos padrões de potabilidade do país, Libânio (2016) ressalta que a CE é um indicador significativo do lançamento de efluentes, pois está relacionada à concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD).

### **3.4.3 Turbidez**

A turbidez da água resulta da presença de sólidos suspensos que diminuem sua clareza e pode ser causada por diversos tipos de partículas, como argila, areia, silte e matéria orgânica proveniente de descargas industriais e domésticas, bem como processos naturais de erosão. Água com alta turbidez tende a formar partículas mais densas que se sedimentam mais rapidamente do que água com baixa turbidez. A turbidez é uma medida da concentração de partículas suspensas na água, determinada pela passagem de luz através da amostra, e é expressa em unidades de turbidez (NTU) (LIBÂNIO, 2016).

A turbidez de origem natural geralmente não apresenta riscos sanitários significativos, além de causar apenas uma aparência esteticamente desagradável na água. No entanto, as partículas sólidas em suspensão podem servir como locais de abrigo para microrganismos patogênicos e não patogênicos, o que pode diminuir a eficácia dos processos de desinfecção da água. Além disso, quando a turbidez é causada por atividades humanas (origem antropogênica), pode estar associada a substâncias tóxicas e à presença de organismos patogênicos. Em corpos

d'água superficiais, a turbidez pode também reduzir a penetração da luz solar, prejudicando a fotossíntese e, conseqüentemente, o ecossistema aquático (NUNES, 2010).

Elevados níveis de turbidez têm o potencial de diminuir a taxa de fotossíntese em vegetação submersa e em algas. Esse decréscimo no desenvolvimento das plantas pode, por sua vez, impactar negativamente a produtividade das populações de peixes, uma vez que a disponibilidade de alimentos é afetada. Portanto, a turbidez pode exercer influência sobre as comunidades biológicas aquáticas. Além disso, ela tem efeitos adversos nas aplicações domésticas, industriais e recreacionais da água, tornando-a menos adequada para esses usos (SABESP, 2010).

#### **3.4.4 Dureza total**

A dureza da água é uma medida que representa a soma da concentração de íons de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) na água, geralmente expressa em termos da concentração de carbonato de cálcio (em miligramas por litro - mg/L). Além do cálcio e magnésio, outros íons, como ferro, manganês, zinco, estrôncio e alumínio, também podem estar presentes na composição da água (GRAEBIN, 2019).

Conforme observado por Mendonça e Flores (2017), a dureza da água varia dependendo do tipo de solo que compõe o reservatório em que ela está armazenada. Por exemplo, águas retidas em solos calcários tendem a ter níveis mais elevados de dureza em comparação com aquelas retidas em solos graníticos ou areníferos.

A dureza total da água resulta da combinação da dureza temporária, também chamada de "dureza de carbonatos," que equivale à alcalinidade total, e da dureza permanente, também conhecida como "não-carbonatos," que se deve à presença de sulfatos e cloretos de cálcio ou magnésio (APHA - AWWA - WEF, 2017).

A presença de dureza na água pode afetar diversas propriedades, como a insipidez, resultando em um sabor desagradável. Além disso, a dureza pode levar a efeitos laxativos e prejudicar a capacidade do sabão de formar espuma quando utilizado com essa água (COELHO, 2017).

A dureza da água tem um limite máximo aceitável de 300 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  (Portaria n.º888 do MS). A água pode ser classificada como "mole" quando a concentração de  $\text{CaCO}_3$  é inferior a 50 mg/L, "moderada" quando varia de 50 a 150 mg/L, "dura" quando varia de 150 a 300 mg/L e "muito dura" quando excede 300 mg/L (LIBÂNIO, 2016).

### 3.4.5 Cloretos

Altos níveis de cloretos na água podem servir como indicadores de poluição em um corpo de água. Quando se trata de água destinada ao consumo humano, a presença de cloretos em concentrações elevadas está associada a uma alteração no sabor da água, o que pode ser indesejável. Portanto, para que a água seja considerada adequada para consumo humano, é recomendado que os níveis de cloretos estejam de acordo com a portaria GM/MM n. °888/2021 que estabelece um valor máximo permitido abaixo de 250 mg/L. Manter essas concentrações dentro desses limites é importante para garantir a aceitabilidade da água em termos de sabor e qualidade (BRASIL, 2011).

Os cloretos, em sua maioria, originam-se da dissolução de minerais, da entrada de água do mar, do lançamento de resíduos industriais e urbanos e da decomposição de rochas sedimentares devido à ação das condições climáticas (LUCAS, 2014).

### 3.4.6 Alcalinidade

A alcalinidade desempenha um papel significativo na análise e caracterização das águas. Ela influencia processos como coagulação e precipitação química durante o tratamento da água, afeta a corrosão de tubulações e equipamentos, influencia o crescimento de microrganismos nos sistemas de tratamento biológico, tem relevância na avaliação da toxicidade de certos compostos e contribui para a compreensão do equilíbrio entre os constituintes alcalinos e ácidos na água. Portanto, a medida da alcalinidade é fundamental para diversos aspectos relacionados à qualidade da água e seu uso em sistemas de tratamento e distribuição (SPERLING, 2005; LIMA, 2008).

A alcalinidade é uma medida que indica a quantidade de íons em uma amostra de água que tem a capacidade de neutralizar íons hidrônio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ). Os principais componentes que contribuem para a alcalinidade são os bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ). Esses íons têm a capacidade de reagir com os íons hidrônio, agindo como agentes neutralizadores, o que influencia o nível de alcalinidade na água (BRASIL, 2006).

Conforme destacado por MONTEIRO (2018), a concentração de alcalinidade na água é afetada pela interação da água com processos de decomposição de rochas, pela presença de resíduos industriais e também por reações que envolvem o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera, bem como pela oxidação da matéria orgânica. Esses fatores desempenham um papel significativo na determinação dos níveis de alcalinidade em amostras de água.

A alcalinidade está intrinsecamente ligada ao pH da água. Quando o pH da água está na faixa de 4,4 a 8,3, a alcalinidade é principalmente devida aos bicarbonatos. Na faixa de pH entre 8,3 e 9,4, a alcalinidade é atribuída tanto aos carbonatos quanto aos bicarbonatos. Quando o pH é superior a 9,4, a alcalinidade é dominada pelos hidróxidos e carbonatos. No Brasil, as águas naturais geralmente apresentam alcalinidades inferiores a 100 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ , o que indica níveis relativamente baixos de alcalinidade na maioria das amostras de água do país (LIBÂNIO, 2010).

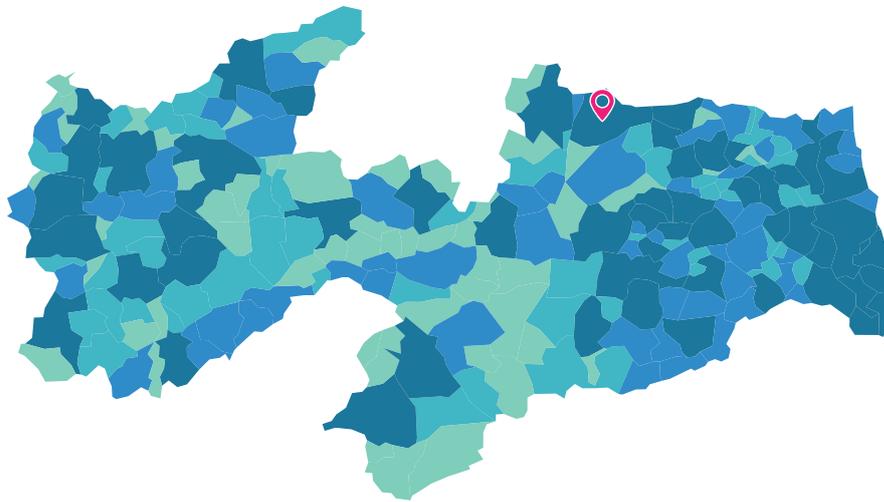
Conforme mencionado pela FUNASA (2004), as águas superficiais, geralmente, possuem uma alcalinidade natural em concentrações adequadas para reagir com o sulfato durante os processos de tratamento. No entanto, quando a alcalinidade é muito baixa, pode ser necessário introduzir uma forma artificial de alcalinidade, como o carbonato de sódio, para assegurar que as reações de tratamento ocorram de maneira eficaz. Por outro lado, se a alcalinidade natural da água for muito alta, isso também pode apresentar desafios no tratamento da água, e medidas específicas podem ser necessárias para ajustar os níveis de alcalinidade.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Área de estudo

O campo de estudo localiza-se no município de Cuité – PB. Conforme os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2022), Cuité fica localizado na Mesorregião Agreste Paraibano e Microrregião Curimataú Ocidental Paraibano, a uma altitude de 667 m acima do nível do mar e tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 6° 28' 54'' Sul, Longitude: 36° 8' 59'' Oeste, conforme a figura 1. O município encontra-se a uma distância de aproximadamente 219 Km da capital do estado, João Pessoa. Possui uma população de 19.719 habitantes, cerca de 67% residem na área urbana e 33% residem na área rural, e possui uma área territorial de 733,818 km<sup>2</sup>, tendo assim uma densidade demográfica de 26,87 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2023).

**Figura 1:** Localização do município de Cuité - PB.



**Fonte:** IBGE (2023).

### 4.2 Coleta das amostras

As amostras de água foram coletadas de quatro poços. Cada amostra foi obtida em diferentes pontos, devidamente identificada e colocada em garrafas de 2,0 litros fabricadas em

polietileno de alta densidade (PET), cada garrafa foi previamente higienizadas, foi rotulada de acordo com a localização da coleta, e as amostras foram mantidas refrigeradas durante todo o período de análise (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011).

Os locais onde as quatro amostras foram obtidas a partir dos poços são identificados como: Loteamento São Francisco, Rua José Texeira de Lima - Ponto 01, Rua José Texeira de Lima - Ponto 02 e Rua José Cordeiro de Lima.

A tabela 1 exhibe as localizações das amostras coletadas, enquanto a figura 2 mostra a disposição geográfica e os locais de coleta das amostras.

**Tabela 1:** Amostras e seus respectivos locais de coleta.

AMOSTRAS	LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS
I	Loteamento São Francisco
II	Rua José Texeira de Lima - 01
III	Rua José Teixaira de Lima - 02
IV	Rua José Cordeiro de Lima

**Fonte:** Dados de pesquisa (2023).

**Figura 2:** Pontos de coleta das amostras



**Fonte:** Adaptado de Satellites.pro (2023).

### 4.3 Caracterização dos parâmetros Físico-Químicos

As análises das amostras foram conduzidas nos laboratórios de Química Geral e Inorgânica (H10), e Química Analítica (H09), todos pertencentes ao Centro de Educação e Saúde (CES) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizado no *campus* de Cuité, na Paraíba. No processo de análise, foram empregadas metodologias que seguem as diretrizes estabelecidas no livro "*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*" como referência (APHA – AWWA – WEF, 2017), e pelo manual da Fundação Nacional da Saúde (FUNASA, 2013).

As amostras passaram por análise em triplicata, resultando no cálculo dos valores médios, desvio padrão e erros para cada conjunto de medições. Essas avaliações foram realizadas utilizando o teste de *Student* com um nível de confiança de 95%. A manipulação dos dados ocorreu em planilhas de cálculo, seguindo o método proposto por SKOOG (2006). Além disso, foram incluídos os volumes e concentrações das soluções titulantes utilizadas nas medições e padronizações para auxiliar nos cálculos.

Para  $N$  medições o valor médio é dado por:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

O desvio padrão é:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

E o erro:

$$\varepsilon = \frac{t_{N-1}\sigma}{\sqrt{N}}$$

Onde  $t_{N-1}$  se refere ao intervalo de confiança de 95%.

### 4.3.1 pH

A determinação do pH das amostras foram conduzidas utilizando um medidor de pH da marca Simpla pH 140. Antes da análise, o pHmetro foi devidamente calibrado utilizando soluções tampões a pH = 4 e 7 (Figura 3).

**Figura 3:** pHmetro utilizado para medir o pH das amostras



**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

### 4.3.2 Condutividade Elétrica

A avaliação da condutividade elétrica (CE) das amostras foi conduzida utilizando um condutivímetro do modelo mCA-150 da marca MS TECNOPON (Figura 4). Antes da análise, o condutivímetro foi calibrado adequadamente, utilizando uma solução padrão de cloreto de potássio (KCl) com uma condutividade de  $146,9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$  como referência (MS TECNOPON, 2020).

**Figura 4:** Condutivímetro utilizado para medir a CE das amostras



**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

### 4.3.3 Alcalinidade

A alcalinidade foi analisada em triplicatas, utilizando o procedimento de titulação ácido-base (Figura 5). Nesse processo, o hidróxido de sódio (NaOH) previamente calibrado foi utilizado como agente titulante, enquanto que a fenolftaleína atuou como indicador devido ao caráter alcalino do pH das amostras, uma vez que os carbonatos estavam predominantemente presentes sob a forma de bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) em sua composição (SKOOG, 2005). Os resultados das alcalinidades medidas foram reportados em mg/L de  $\text{CaCO}_3$ .

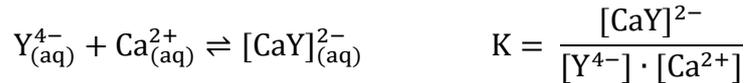
**Figura 5:** Fluxograma da análise de Alcalinidade



**Fonte:** Adaptado de Funasa (2013).

#### 4.3.4 Dureza total

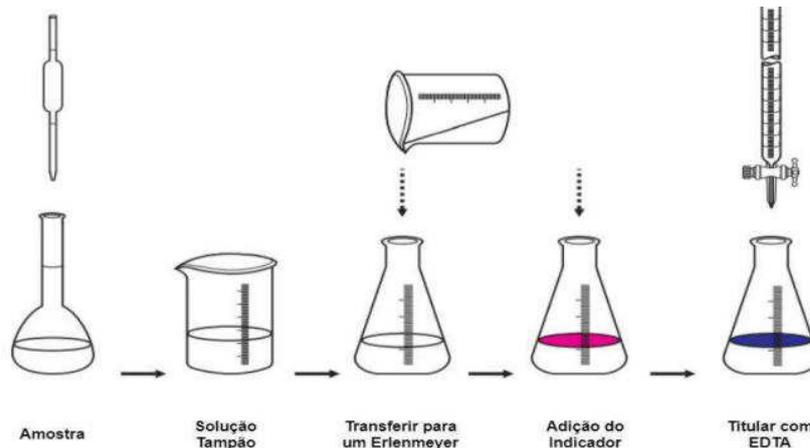
Para avaliar a dureza da água, foi utilizado o método tradicional de volumetria de complexação (Figura 6), fazendo uso do agente titulante EDTA (ânion etilenodiaminotetraacetato, ligante hexadentado) e utilizando o negro de eriocromo T (NET) a pH = 9, como indicador:



O termo  $Y^{4-}$  refere-se ao EDTA na sua forma desprotonada (a forma ácida do EDTA é representada como  $H_4Y$ ) (SKOOG, 2005).

Para quantificar a dureza da água, as concentrações de íons  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  foram medidas em triplicata, expressas em mg/L de  $CaCO_3$  e  $MgCO_3$ . O indicador usado para a avaliação da dureza total foi o Negro de Eriocromo T (NET) a um pH= 9. Para a determinação de  $Ca^{2+}$ , foi necessário ajustar o pH para 12 e utilizar o indicador murexida. A concentração de  $Mg^{2+}$  foi obtida pela diferença entre as concentrações medidas com o NET e murexida. Em ambos os procedimentos, o agente titulante empregado foi o etilenodiaminotetraacetato (EDTA) (SKOOG, 2005; APHA – AWWA – WEF, 2017;).

**Figura 6:** Fluxograma da análise de Dureza



**Fonte:** Adaptado de Funasa (2013).

### 4.3.5 Turbidez

As medidas de turbidez foram efetuadas utilizando um turbidímetro do modelo DLT-WV (Figura 7), o qual foi calibrado previamente com soluções padrão, abrangendo uma faixa de valores compreendidos entre 0,00 e 1000 NTU (DEL LAB, 2018).

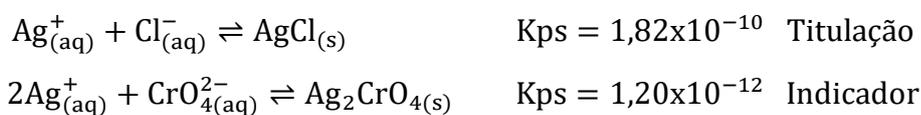
**Figura 7:** Turbidímetro utilizado nas medidas de turbidez

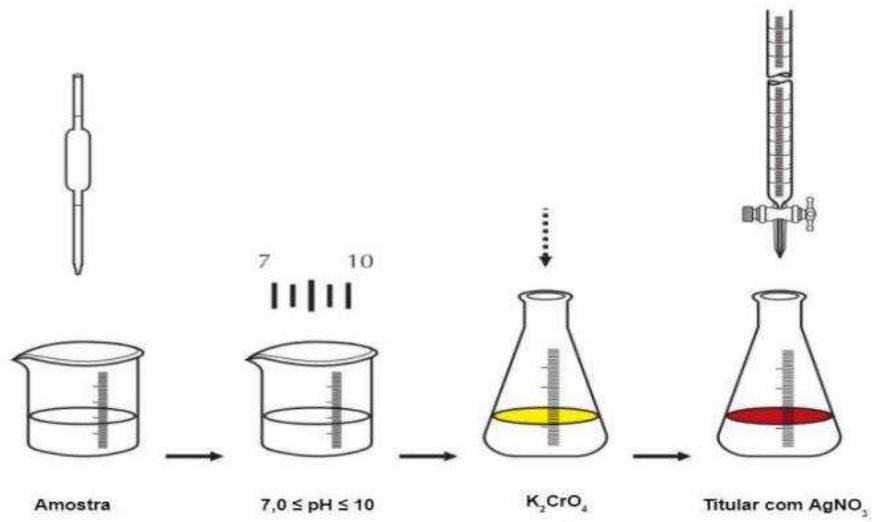


**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

### 4.3.6 Teor de Cloro

A determinação do teor de cloro foi conduzida através do método de Mohr, envolvendo titulações de precipitação com íons prata ( $\text{Ag}^+$ ) (Figura 8). O agente titulante empregado foi uma solução padrão de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ), com concentração aproximada de 0,01 M e mantendo o pH dentro da faixa de 7 a 10. Um indicador visual foi incorporado ao processo, utilizando algumas gotas de solução de cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ), a fim de detectar a formação de um precipitado vermelho de cromato de prata ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ). As concentrações de cloro foram expressas em miligramas por litro (mg/L) de íon cloro ( $\text{Cl}^-$ ), com base na massa molar de 35,45 g/mol (SKOOG, 2005).



**Figura 8:** Fluxograma da análise de Cloretos

**Fonte:** Adaptado de Funasa (2013).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização dos parâmetros: pH, Condutividade e Turbidez

O pH é um fator crucial na avaliação da qualidade da água destinada ao consumo humano, devendo manter-se em faixas adequadas, evitando valores excessivamente baixos ou altos (VIEIRA; RODRIGUES; RIMAR, 2019). De acordo com o regulamento estabelecido nas Portarias de Consolidação do Ministério da Saúde n° 5/2017 e n.º 888/2021, o valor de pH da água deve situar-se entre 6,0 e 9,5 (BRASIL, 2017).

Apesar de não estabelecer um limite máximo para a Condutividade Elétrica (CE) na regulamentação de água potável, o Ministério da Saúde reconhece a relevância desse parâmetro na avaliação da qualidade da água (BRASIL, 2017). A CE é uma análise de fácil execução e desempenha um papel importante no monitoramento da água, pois pode revelar a presença de diferentes substâncias químicas, com base na sua capacidade de conduzir corrente elétrica, nos recursos hídricos (LÖBLER; BORBA; SILVA, 2015).

A turbidez é um parâmetro de extrema relevância nas análises da qualidade da água, uma vez que, quando não está em conformidade com os padrões estabelecidos, pode comprometer a utilidade da água em várias aplicações, incluindo o consumo residencial e a utilização industrial, entre outros (CETESB, 2019). Assim, é fundamental realizar uma avaliação da turbidez da água em questão, destinada ao consumo, a fim de verificar se ela atende ao limite estipulado pelo Ministério da Saúde (MS) de 5 NTU (BRASIL, 2011; BRASIL, 2017).

#### 5.1.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Analisando a tabela (Tabela 2), os resultados do pH das amostras coletadas estão dentro da faixa de 3,37 a 3,45. Isso indica que, com base nas medições de pH, as amostras de água exibem características ácidas.

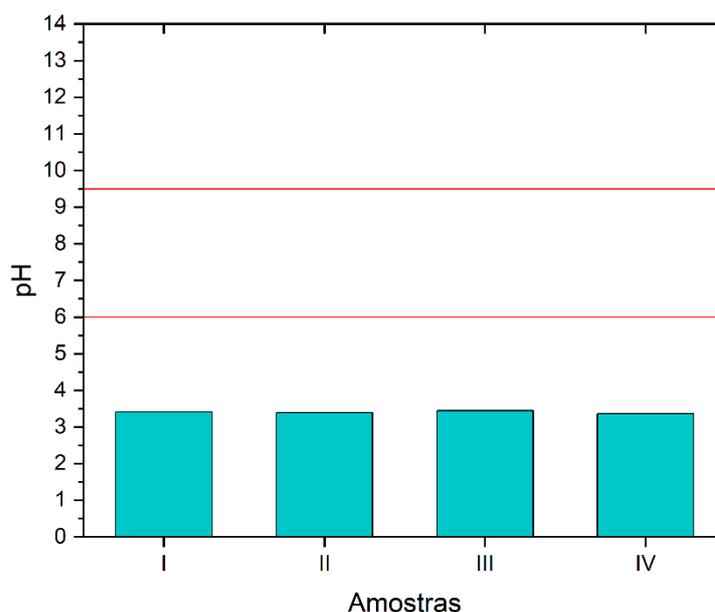
**Tabela 2:** Medidas de pH para as amostras coletadas

AMOSTRAS		VALORES MÉDIOS DE PH
Máximo permitido pelo MS		$6,0 \leq \text{pH} \leq 9,5$
I		$3,41 \pm 0,01$
II		$3,39 \pm 0,01$
III		$3,45 \pm 0,01$
IV		$3,37 \pm 0,01$

**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

Como pode-se observar no gráfico 1, o pH de todas as amostras examinadas não está em conformidade com os requisitos estabelecidos pela Portaria n.º 888/2021 do Ministério da Saúde. Todas as amostras apresentam valores abaixo de 6,0 o que significa que não atendem aos padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde para a água destinada ao consumo humano.

**Gráfico 1:** Comparação das medidas de pH para as amostras coletadas



**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

É fundamental destacar que o pH da água potável tem impacto na saúde das pessoas. Em relação a esse assunto, um estudo conduzido por Nogueira-de-Almeida e Ribas Filho (2018) concluiu que o consumo de bebidas e alimentos com caráter alcalino, devido aos níveis elevados de bicarbonato, pode contribuir para a preservação da densidade óssea. No entanto, a ingestão contínua de alimentos e bebidas, incluindo a água, com natureza ácida pode levar a um aumento significativo na excreção de cálcio, o que prejudica a manutenção da massa óssea.

### 5.1.2 Condutividade Elétrica

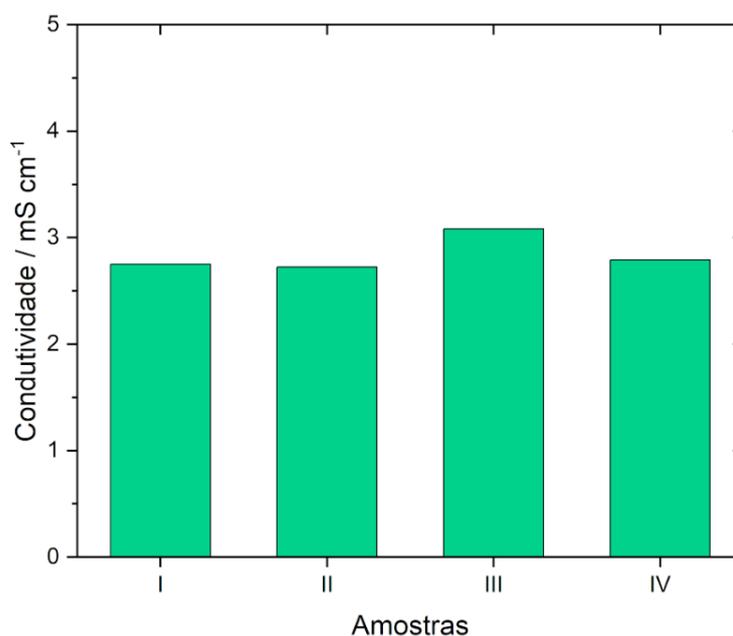
Na tabela 3, são exibidos os dados de condutividade elétrica (CE) referentes às amostras coletadas dos poços. Todas as medidas foram realizadas em triplicata e calculadas as médias de CE. Os resultados das condutividades elétricas para as amostras de água revelaram valores bastante próximos, pode-se destacar a amostra II, que registrou um valor de  $2,72 \text{ mS.cm}^{-1}$ , e da amostra III, que apresentou a maior condutividade elétrica, alcançando  $3,08 \text{ mS.cm}^{-1}$ .

**Tabela 3:** Medidas de CE para as amostras coletadas.

AMOSTRAS		CONDUTIVIDADE (mS/cm)
Máximo permitido pelo MS		Não informado
I		2,75 ± 0,04
II		2,72 ± 0,02
III		3,08 ± 0,02
IV		2,79 ± 0,03

**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

Conforme Libânio (2010), a condutividade elétrica (CE) está intimamente ligada ao nível de salinidade, uma característica crucial para muitas fontes de água subterrânea e corpos d'água próximos ao litoral, que podem estar sujeitos à intrusão de água salgada. Em condições naturais, a condutividade elétrica da água geralmente é inferior a  $0,1 \text{ mS.cm}^{-1}$  ( $100 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ), mas pode atingir valores de até  $1 \text{ mS.cm}^{-1}$  ( $1000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ) em corpos de água que recebem altas cargas de efluentes domésticos e industriais.

**Gráfico 2:** Comparação das medidas de CE para as amostras coletadas

**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

A condutividade elétrica das águas dos poços analisados está significativamente acima de  $1000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ . Conforme observado por Libânio (2010), em regiões com longos períodos de estiagem e exposição ao sol, a salinidade e a condutividade elétrica tendem a aumentar. Portanto, o aumento da condutividade elétrica nas águas dos poços analisados pode ser atribuído a esse fato, uma vez que a região está enfrentando uma prolongada temporada de estiagem, o que resulta na autodepuração das águas subterrâneas.

De acordo com as informações de Libânio (2010), a condutividade elétrica não faz parte dos critérios estabelecidos no padrão de qualidade da água para consumo humano no Brasil, em outros países, regulamentações locais definem limites máximos de Condutividade Elétrica (CE) para a água destinada ao consumo humano. Na Austrália, de acordo com o *Waterwatch Australia National Technical Manual* (Manual Técnico Nacional da Austrália, em português), o valor máximo recomendado para a CE na água destinada ao consumo humano é de 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (WATERWATCH AUSTRALIA, 2005).

Dessa forma, a condutividade elétrica desempenha um papel relevante como um indicador significativo da possível descarga de efluentes, uma vez que está correlacionada com a concentração de sólidos dissolvidos totais na água.

### 5.1.3 Turbidez

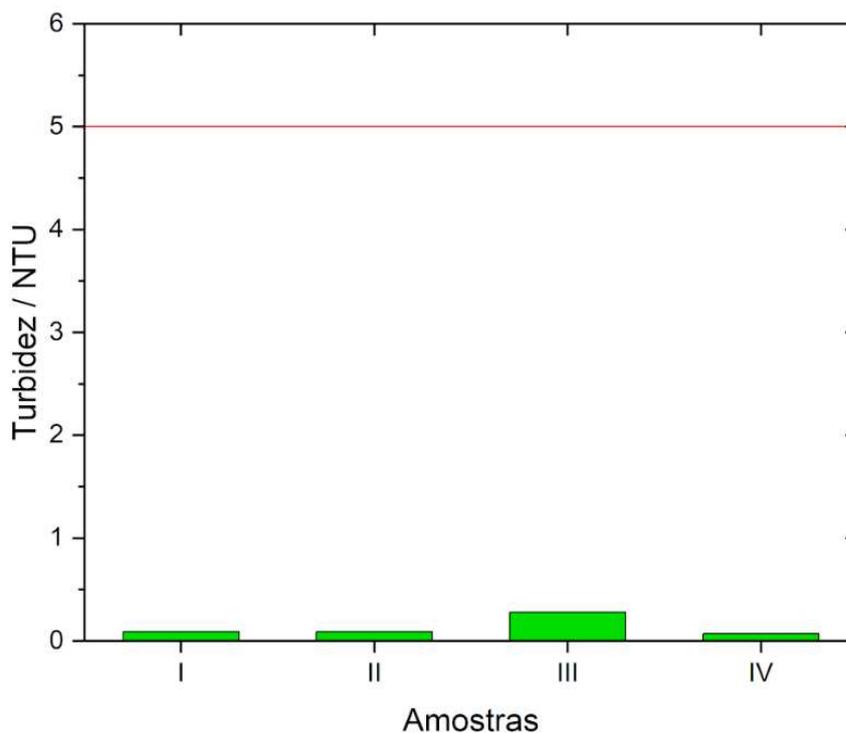
A turbidez é avaliada com base na medida da intensidade da luz que atravessa uma suspensão de partículas. A Tabela 4 apresenta os dados relativos aos parâmetros de turbidez das amostras coletadas, a amostra IV registrou o valor mais baixo, com apenas 0,07 NTU, enquanto a amostra III apresentou o valor mais elevado, atingindo 0,28 NTU.

**Tabela 4:** Medidas de Turbidez para as amostras coletadas

AMOSTRAS		TURBIDEZ (NTU)
Máximo permitido pelo MS		5,0
I		0,09 $\pm$ 0,01
II		0,09 $\pm$ 0,01
III		0,28 $\pm$ 0,01
IV		0,07 $\pm$ 0,01

**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

O gráfico 3 apresenta uma comparação entre a turbidez das amostras coletadas, observou-se que todos os níveis de turbidez estão em conformidade com os padrões estabelecidos para consumo humano, conforme estipulado pela Portaria 2,914/2011 do Ministério da Saúde, que estabelece um limite máximo de 5,0 NTU.

**Gráfico 3:** Comparação das medidas de Turbidez para as amostras

**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

Conforme a Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, os limites máximos de turbidez estabelecidos são de 1,0 NTU para água subterrânea desinfetada e água filtrada após tratamento completo ou filtração direta, e de 5,0 NTU como padrão de aceitação para o consumo humano (BRASIL, 2014). Nesse contexto, os valores das amostras de água também se encontram em conformidade com os limites estipulados por essa portaria. Conforme observado por Sperling (2005), níveis elevados de turbidez são frequentemente associados à presença de matéria orgânica e inorgânica em suspensão, o que pode servir de *habitat* para microrganismos e prejudicar a eficácia dos processos de tratamento químico ou físico da água.

## 5.2 Caracterização do parâmetro: Dureza

A avaliação do índice de dureza da água desempenha um papel fundamental na determinação de sua qualidade, conforme destacado por Rosa (2013). A dureza da água é o resultado direto da presença de metais alcalinos terrosos, resultando da dissolução de minerais do solo e de rochas, ou aporte de resíduos industriais (ROCHA, 2004).

A dureza da água, conforme apresentada na TABELA 5, é determinada pela adição das concentrações totais de íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  em solução, conforme explicado por Girard (2013).

Quando as concentrações desses sais estão em níveis elevados, a água é classificada como "dura", enquanto quando estão em níveis baixos, a água é considerada "mole" (ROCHA, 2004).

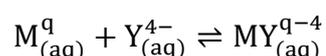
**Tabela 5:** Classificação da dureza das águas naturais

CLASSIFICAÇÃO	CONCENTRAÇÃO COMO (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
Água mole	< 50
Água moderadamente mole	50 a 100
Água levemente dura	100 a 150
Água moderadamente dura	150 a 250
Água dura	250 a 350
Água muito dura	> 350

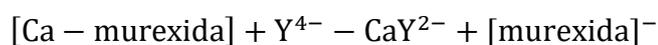
**Fonte:** ROCHA (2004)

A titulometria, com formação de complexos ou complexiometria, é um método que se apoia em reações que ocorrem entre um íon metálico e um ligante que leva à formação de complexos notavelmente estáveis (ROSA, 2013).

Os complexos mais frequentemente formados envolvem o ácido etilenodiaminotetracético (EDTA). A reação entre o íon metálico e o EDTA pode ser representada de maneira geral pela Equação (ROSA, 2013).



Ao adicionar cristais de murexida a uma solução contendo NaOH, uma coloração rosa surge, sendo essa coloração indicativa da presença de íons de cálcio na solução, como exemplificado na Equação.



A medida que a titulação avança, os íons catiônicos livres são inicialmente complexados. Ao atingir o ponto final da titulação, o cálcio é liberado do complexo Ca-murexida e forma um complexo de cor violeta intensa, conforme ilustrado nas figuras 9 e 10.

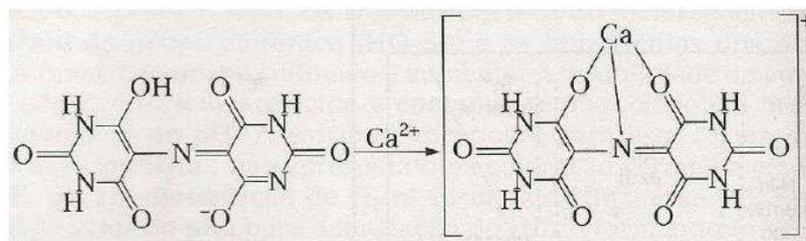
**Figura 10:** Indicador NET

Fonte: Dados da pesquisa (2023).

**Figura 9:** Indicador Murexida

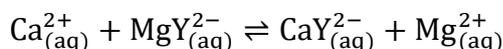
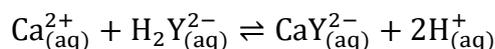
Fonte: Dados da pesquisa (2023).

A figura 11 representa a reação que ocorre no final da titulação envolvendo o EDTA e o íon de cálcio.

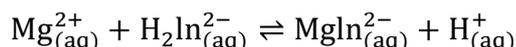
**Figura 11:** Formação do complexo cálcio - EDTA

Fonte: BACCAN, (2001).

Conforme o titulante  $H_2Y^{2-}$  é introduzido no analito, ocorre a complexação dos íons de cálcio e magnésio, dando origem aos seus respectivos íons complexos:



Após a complexação de todos os íons de cálcio, os íons de magnésio são liberados e, em seguida, reagem com o EDTA, originando as seguintes reações:



A elevada dureza das águas superficiais é regida pelo mesmo princípio que influencia a alcalinidade. Isso ocorre devido à dissolução de minérios e rochas (NOLASCO, 2020). Portanto, à medida que a água entra em maior contato com o solo, a concentração de íons cálcio aumenta, uma vez que estes se dissolvem devido à presença de  $CO_2$  na água (BARROS, 2021). Consequentemente, é mais provável encontrar águas subterrâneas com alta dureza. Esse parâmetro pode ser categorizado da seguinte maneira: dureza temporária, que é ocasionada pela combinação dos íons de cálcio e magnésio com bicarbonato e carbonato, podendo ser removida por meio da ebulição; dureza permanente, relacionada a cloretos e sulfatos, persiste mesmo após fervura; e a dureza total, que é a soma das duas categorias (BRASIL, 2013).

De acordo com os dados da Tabela 5, podemos classificar as amostras da seguinte forma: as amostras II e IV são categorizadas como água dura devido aos valores de dureza situados na faixa de 250 a 350 mg/L de  $CaCO_3$ , enquanto as amostras I e III são classificadas como água muito dura, uma vez que seus valores excedem 350 mg/L de  $CaCO_3$ .

Os valores encontrados para a dureza total da água nas amostras analisadas ficaram entre 284 e 370 mg/L de  $CaCO_3$ . A portaria GM/MM n.º888/2021 estabelece um valor máximo permitido de 300 mg/L, com base nos valores de dureza apresentados na Tabela 6, é possível afirmar que as amostras I, III e IV não encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde.

**Tabela 6:** Medidas de Dureza para as amostras coletadas.

AMOSTRAS	DUREZA TOTAL (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	DUREZA Ca <sup>2+</sup> (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	DUREZA Mg <sup>2+</sup> (mg/L MgCO <sub>3</sub> )
Máximo permitido pelo MS	300	—	—
I	370 ± 45	51 ± 15	269 ± 41
II	284 ± 58	53 ± 7	194 ± 25
III	355 ± 57	43 ± 10	263 ± 64
IV	320 ± 76	61 ± 8	218 ± 28

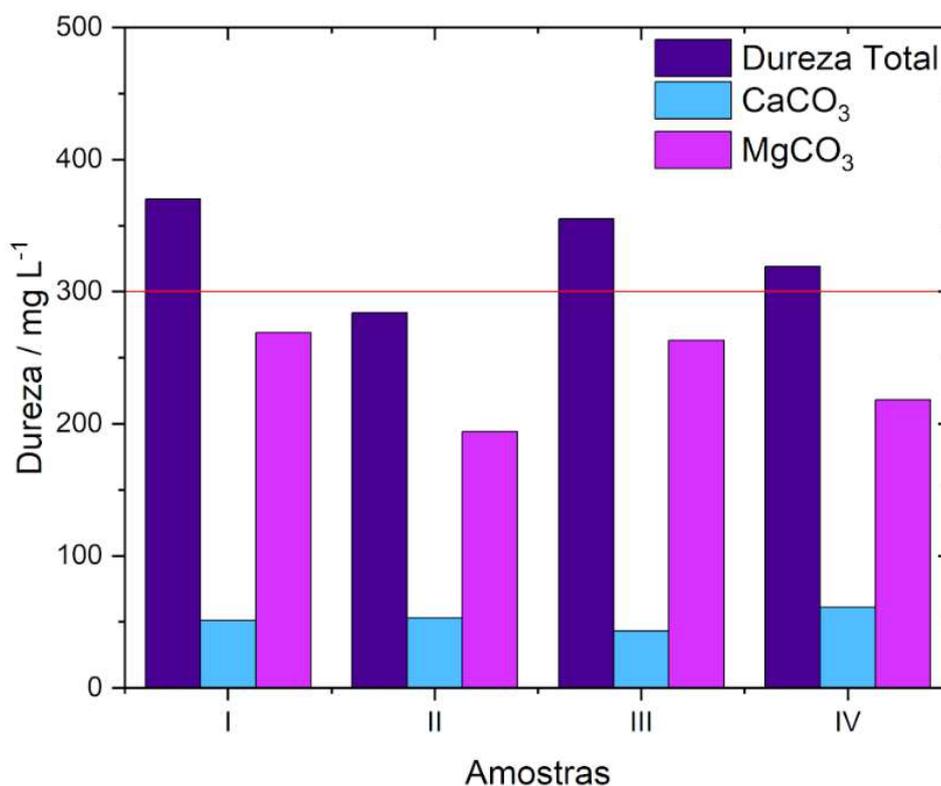
**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

Segundo as observações de Libânio (2010), a dureza da água se destaca como uma característica mais proeminente e notável em regiões onde a formação geológica é rica em calcário, mas tem uma presença menos marcante em áreas de terrenos predominantemente arenosos ou argilosos. Além disso, de acordo com as informações de Roloff (2006), a dureza da água pode resultar em um sabor desagradável e, em alguns casos, pode ter efeitos laxativos.

Conclui-se que todas as amostras de água dos poços analisadas apenas a amostra I está em conformidade com os regulamentos do Ministério da Saúde, especificamente a portaria GM/MM n.º 888/2021, e, como tal, é considerada segura e apropriada para o consumo humano.

O gráfico 4 apresenta comparações entre a dureza total, as durezas dos íons Ca<sup>2+</sup> e dureza dos íons Mg<sup>2+</sup> para as amostras coletadas.

**Gráfico 4:** Comparação da dureza total, dureza de Ca<sup>2+</sup> e dureza de Mg<sup>2+</sup> nas amostras coletadas



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

### 5.3 Caracterização do parâmetro: Alcalinidade

A alcalinidade das águas naturais reflete a habilidade de neutralizar ácidos ou a capacidade de manter o pH relativamente estável, predominantemente devido à presença de íons bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e hidróxido ( $\text{OH}^-$ ). Durante o tratamento da água para torná-la segura para consumo humano, a alcalinidade desempenha um papel fundamental no sucesso do processo de coagulação, evitando uma queda acentuada do pH após a adição do coagulante, conforme apontado por LIBÂNIO (2010).

A alcalinidade representa a capacidade de um corpo d'água de neutralizar ácidos. Essa medida considera os componentes que podem receber prótons presentes nas águas naturais e desempenha um papel crucial na avaliação do potencial de acidificação de lagos e rios, como destacado por GIRARD (2013).

Por definição, em uma solução que contém íons carbonato, bicarbonato, íons hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) e íons hidrogênio ( $\text{H}^+$ ), temos o seguinte:

$$\text{Alcalinidade total} = [2\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{OH}^-] + [\text{H}^+]$$

Na titulação de neutralização das amostras de águas dos poços foi utilizado a fenolftaleína como indicador, as titulações foram realizadas em triplicatas, e as médias dos volumes de hidróxido de sódio (NaOH) consumidos durante as titulações foram calculadas. Os cálculos para determinar a alcalinidade nas amostras de água foram baseados nas médias dos volumes de NaOH gastos.

**Figura 12:** Titulação de neutralização



**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

Os valores de alcalinidade total encontrados para as amostras de águas estão variando entre 342 e 530 mg/L de CaCO<sub>3</sub>. A tabela 7 apresenta os resultados da alcalinidade para as amostras de águas dos poços.

**Tabela 7:** Medidas de Alcalinidade para as amostras coletadas.

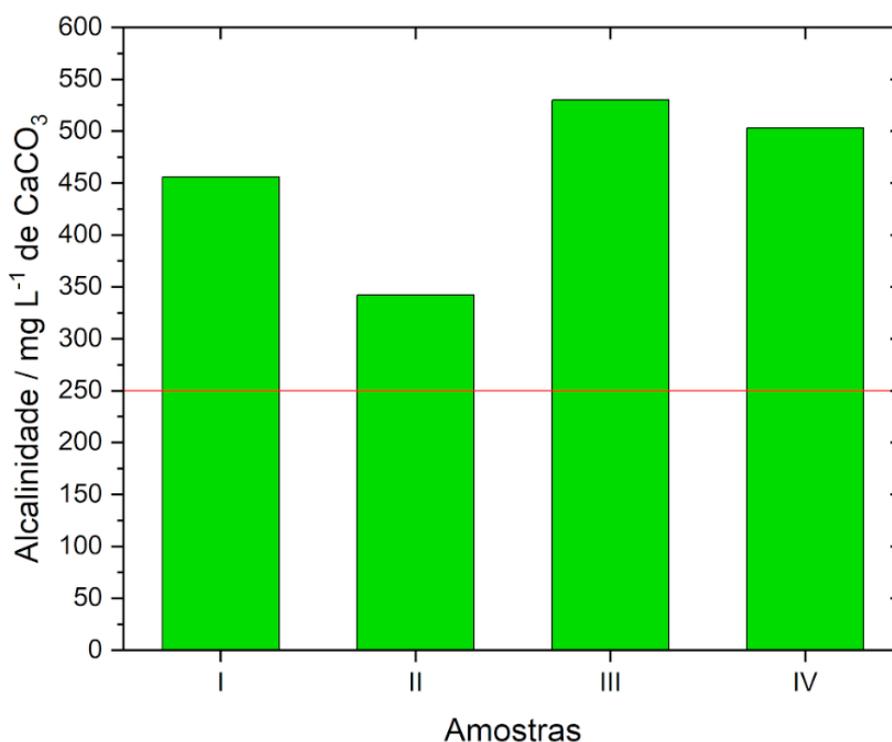
AMOSTRAS		ALCALINIDADE (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )
Máximo permitido pelo MS		Não informado
I		456 ± 70
II		342 ± 20
III		530 ± 6
IV		503 ± 25

**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

De acordo com as informações fornecidas por Ferreira (2012), a alcalinidade da maioria das águas naturais costuma situar-se dentro da faixa de 30 a 500 mg/L de CaCO<sub>3</sub>. Valores mais elevados estão relacionados a processos de decomposição de matéria orgânica e a uma taxa significativa de respiração dos microrganismos, com liberação e dissolução do dióxido de carbono na água.

A determinação da alcalinidade desempenha um papel fundamental no processo de tratamento da água, pois é com base nessa medida que se determina a quantidade dos produtos químicos necessários (BRASIL, 2009). O Gráfico 5 oferece uma representação mais clara da alcalinidade total das amostras de água.

**Gráfico 5:** Comparação entre os valores de alcalinidade medidos



**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

A Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), esse valor seria de 250 mg/L de CaCO<sub>3</sub> para alcalinidade de bicarbonatos. Enquanto que para a alcalinidade proveniente de carbonatos esse valor seria de apenas 125 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (GIAMPÁ, GONÇALES, 2005). No entanto, a relevância primordial da alcalinidade está associada aos processos de tratamento da água, uma vez que essa característica desempenha um papel fundamental em operações como coagulação, redução da dureza da água e prevenção da corrosão em sistemas de tubulações.

#### 5.4 Caracterização do parâmetro: Íons Cloretos

Os íons cloretos são comumente encontrados em águas brutas e tratadas, com concentrações que podem variar desde vestígios mínimos até centenas de mg/L. Eles são

predominantemente encontrados na forma de cloreto de sódio, cálcio e magnésio (BRASIL, 2009).

A volumetria de precipitação se baseia em reações que resultam na formação de produtos de solubilidade reduzida. No método de Mohr para a determinação de cloreto, ocorre um processo de precipitação fracionada: inicialmente, o analito ( $\text{AgCl}$ , um precipitado branco) é precipitado, e no ponto final da titulação, ocorre a precipitação do indicador ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) (Rosa, 2013).

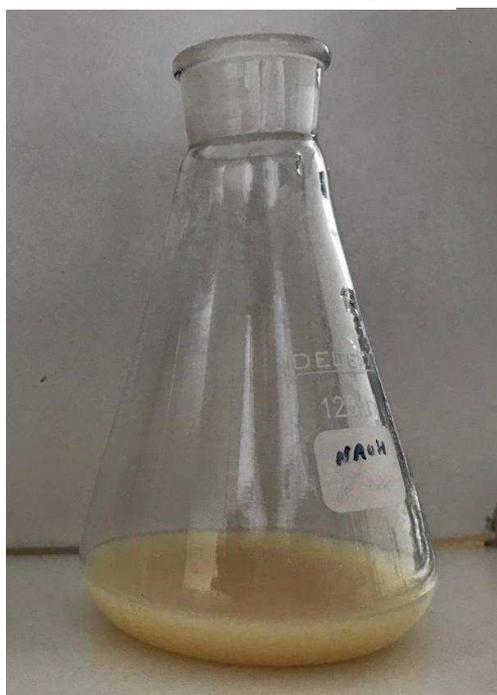
Durante o processo de titulação, as seguintes reações ocorrem:



O método de Mohr foi empregado para quantificar os cloretos nas amostras de água. Conforme a titulação progride, os íons cloreto reagem com a solução de nitrato de prata, resultando na formação de dois precipitados distintos: o cloreto de prata ( $\text{AgCl}$ ) e o cromato de prata ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ).

A detecção do ponto de equivalência da titulação pode ser realizada observando a formação do precipitado de cromato de potássio, que exibe uma coloração levemente avermelhada, como ilustrado na figura 13.

**Figura 13:** Titulação com  $\text{AgNO}_3$ .



**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

As titulações foram realizadas em triplicatas, e as médias dos volumes de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) consumidos durante as titulações foram calculadas. Os cálculos para determinar a

concentração de cloreto nas amostras de água foram baseados nas médias dos volumes de  $\text{AgNO}_3$  gastos.

Os valores de cloretos encontrados nas amostras de águas analisadas ficaram entre 738 e 849 mg/L. A portaria GM/MM n.º888/2021 estabelece um valor máximo permitido de 250 mg/L, com base nos valores do teor de cloro apresentados na Tabela 8, é possível afirmar que as amostras não encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde.

**Tabela 8:** Medidas de Cloretos para as amostras.

AMOSTRAS		TEOR DE CLORO (mg/L)
Máximo permitido pelo MS		250
I		738 ± 50
II		747 ± 56
III		849 ± 53
IV		745 ± 60

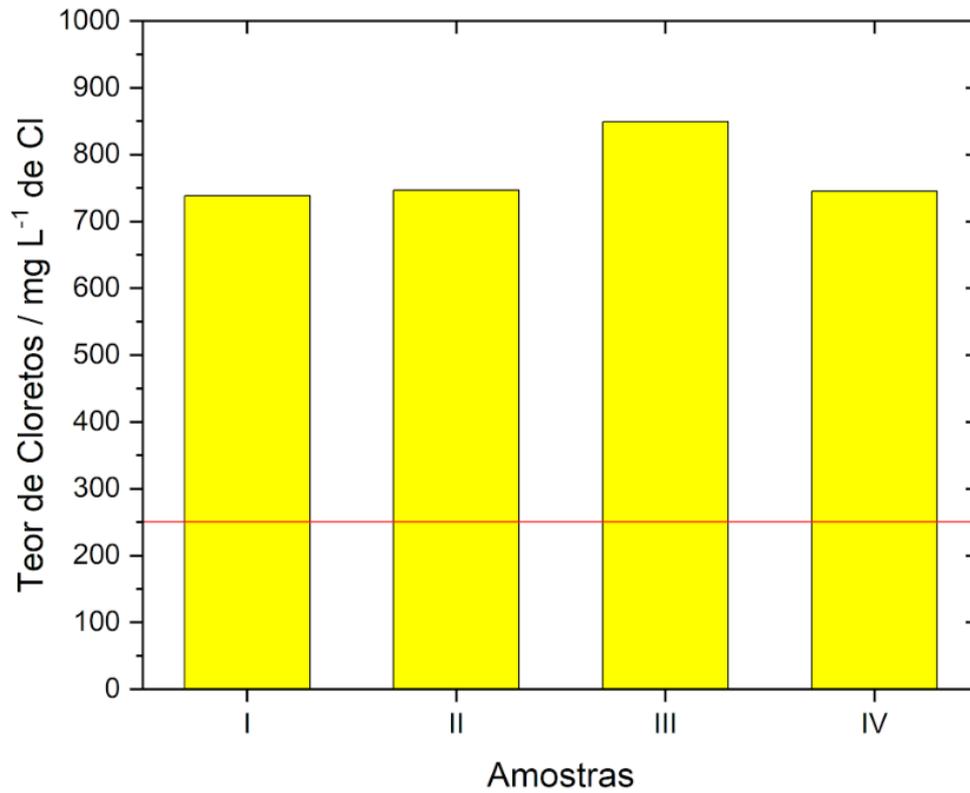
**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

Segundo Macedo (2007), quando os níveis de cloreto se elevam, isso indica a presença de esgotos sanitários e intensifica a capacidade de corrosão da água. Macêdo (2009), concentrações significativas de cloreto conferem à água um sabor desagradável, lembrando as características de água salobra.

De acordo com Brasil (2009), concentrações elevadas de cloretos têm o potencial de limitar a utilidade da água, devido ao sabor que impõem e ao possível efeito laxativo que podem induzir.

Gráfico 6 apresenta, o teor de cloro para as amostras de água, e uma comparação entre as concentrações obtidas.

**Gráfico 6:** Comparação entre os teores de cloro apresentados pelas amostras coletadas



**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escassez de água nas regiões semiáridas representa um desafio que vai além da disponibilidade de água, abrangendo também a qualidade desse recurso. Isso leva a população a depender de sistemas alternativos de abastecimento de água que não são totalmente confiáveis, frequentemente sem um tratamento adequado da água. Essa situação pode representar riscos para a saúde humana.

Dessa forma, tornou-se evidente a necessidade de realizar uma avaliação dos parâmetros físico-químicos das águas dos poços, situado no município de Cuité, Paraíba. Isso se deve à ausência de um sistema de controle de qualidade da água na cidade, a fim de determinar se as águas dos poços atendiam aos Valores Máximos Permitidos estipulados pelo Ministério da Saúde por meio da Portaria n.º 5/2017. Para avaliar essa conformidade, foram efetuadas medições dos parâmetros, tais como pH, condutividade elétrica, alcalinidade, dureza, turbidez e cloretos. Os resultados dessas medições revelaram que, no que se refere à condutividade elétrica, turbidez e alcalinidade, todas as amostras analisadas estavam dentro dos limites estabelecidos como VMP pelo Ministério da Saúde.

No entanto, em relação ao parâmetro pH, as amostras coletadas exibiram valores que não se enquadravam nos padrões definidos pelo Ministério da Saúde, que especifica uma faixa aceitável de 6,0 a 9,5. Com relação a dureza total as amostras I, III e IV não encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde, uma vez que seus valores excedem 300 mg/L de CaCO<sub>3</sub>. E em relação ao teor de cloro, os valores encontrados nas amostras de águas analisadas ficaram entre 738 e 849 mg/L, e a portaria GM/MM n.º 888/2021 estabelece um valor máximo permitido de 250 mg/L, dessa forma, não se enquadram nos padrões determinados pelo Ministério da Saúde.

A partir dessas informações, foi possível concluir que essas águas não eram adequadas para serem consumidas pela população e, conseqüentemente, não deveriam ser usadas como fonte de abastecimento.

Com base na análise preliminar das propriedades das águas provenientes dos poços na região, fica evidente que investigações adicionais podem ser conduzidas para aprofundar a análise de outros cátions. Um exemplo seria a investigação de metais pesados como ferro e mercúrio, os quais, quando presentes em concentrações acima dos Valores Máximos Permitidos, podem representar riscos para a saúde (WANDERMUREM, 2016).

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ítala Farias. Avaliação da qualidade de águas de abastecimento urbano de Juazeirinho-Pb: Águas Superficiais. Dissertação. Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental. Campina Grande, 2017.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). Introduction to viral pathogenic agents. In: Waterborne Pathogens, Denver, 2006. 324p.

Agência Nacional de Águas (Brasil). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno*. Brasília: ANA, 2017. [www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-deconteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2017\\_rel-1.pdf](http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-deconteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2017_rel-1.pdf). Acesso em: 30 set. 2023.

Agência Nacional de Águas ANA. *A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil. The Evolution of Water Resources Management in Brazil*. Brasília; ANA, 2012. Disponível em: [//arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/catalogo/2020/aevolucadagestaodosrecursosshidricosnoBrasil.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/catalogo/2020/aevolucadagestaodosrecursosshidricosnoBrasil.pdf). Acesso em: 10 out. 2023.

APHA - AWWA - WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. Wasghington D. C. American Public Health Association. 19th.edition. 2006.

APHA – AWWA – WEF. American Public Health Association; American Water Work Association; Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Public Health Assn: Washington, 2017.

BACCAN, N., et al.; Química Analítica Quantitativa Elementar, 3ª edição, Editora Edgard Blücher LTDA, São Paulo – SP, 2001.

BARROS, A. de; Ayach, L. R.; BENITES, R. R. M.; PEREIRA, R. H. G. *Qualidade da água subterrânea na área urbana da bacia do córrego João Dias, Aquidauana-MS*. Campina Grande-PB: Editora Amplla, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Brasília: MS, 2006. (Série B. Textos Básicos de Saúde). untitled (saude.gov.br).

BRASIL, Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). Manual Prático de Análise de Água. Brasília, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39-46. 2011.

Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde (Funasa). Manual Prático de Análise de Água (4ª Edição). Brasília: Funasa, 2013.

BRASIL. O saneamento básico no Brasil: Aspectos fundamentais. Capacitação para elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico. BRASIL. Ministério das Cidades, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria de Consolidação Nº 5/2017, 28/09/2017*. Brasília, DF, 2017. <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-deConsolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>. Acesso em: 20 set. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021*. Brasília, 2021. Disponível em: [https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-\\*--321540185](https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-*--321540185). Acesso em: 22 out. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. *Qualidade da água para consumo humano: cartilha para promoção e proteção da saúde*. Brasília: MS, 2018. Disponível em: [qualidade\\_água\\_consumo humano cartilha promocao.pdf \(saude.gov.br\)](#). Acesso em: 15 set. 2023.

BORGHETTI, M.R.B.; BORGHETTI, J.R.; FILHO, E.F.R. *Aqüífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul*. Curitiba: Fundação Roberto Marinho/Itaipu Binacional, 2004.

CARMONA, E. C; TERRONE, C. C; NASCIMENTO, J. M. F; ANGELIS, D. F. *IMPORTÂNCIA DA ÁGUA E SUAS PROPRIEDADES PARA A VIDA 2016*  
CARVALHO, J. C.; GITIRANA J, G. F. N.; CARVALHO, E. T. L. *Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais*. Brasília: Faculdade de Tecnologia, (Série Geotecnia – UnB, v. 4), 2012. p. 1

CARVALHO, F. A. de; FIGUEIREDO, A. de C.; OLIVEIRA, C. A. de. *Qualidade das águas mineralis comercializadas em vários municípios brasileiros*. *Revista Semiárido De Visu*, v. 4, n. 1, p.32-40, 2016.

CAVALCANTI, P. S. D. *Qualidade físico-química da água da bacia no alto do rio Paraná costa/GO*. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia e Produção Sustentável. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiás, 2010.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS - CGEE. *A Questão da Água no Nordeste*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Agência Nacional de Águas. Brasília, DF, 2012. Disponível em: [capa\\_frente.pdf \(cgee.org.br\)](#).

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 2015. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/34-Vari%C3%A1veisde-%20Qualidadedas-%C3%81guas#condutividade>

CETESB. *Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem*. São Paulo: CETESB, 2019. Disponível em: [Publicações e Relatórios | Águas Interiores \(cetesb.sp.gov.br\)](#)

CIRILO, J. A. *Crise Hídrica: desafios e superação*. *Revista USP* • São Paulo • n. 106 • p. 45-58 • julho/agosto/setembro 2015.

CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. *Química*. 11 eds. Porto Alegre: AMGH, 2013.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, Seção 1, p. 58-63. 2005. Disponível em: MMA - Ministério do Meio Ambiente (central3.to.gov.br).

COMPANHIA SANEAMENTO BÁSICO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP.

Qualidade da água. Disponível em:

<http://www.sabesp.com.br/Calandraweb/CalandraRedirect/?Proj=sabesp&Pub=T&Te p=0>.

COELHO, Silvio Carlos et al. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 156-167, 1 jan. 2017.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2.ed. São Carlos: RIma, 2005.1565 p.2

EBERLIN, M. N. Antevidência: a química da vida revelando planejamento e propósito. São Paulo: Editora Mackenzie, 2020.

FERNANDES, F. M. A. *Diagnóstico da qualidade da água subterrânea em propriedade rural no município de Planalto, RS*. 2011. 65 f. Monografia - Curso de Geografia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Unijui, Ijuí-RS, 2011.

FIESP. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. Orientações para utilização de águas subterrâneas no estado de São Paulo. Disponível em: Layout 1 (abas.org). Acesso em: 23 out. 2023.

FUNASA. Manual Prático de Análise de Água. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. Manual prático de análise de água. Brasília: 4ª ed. 2013. Disponível em: manual\_pratico\_de\_analise\_de\_agua\_2.pdf (funasa.gov.br).

FUNASA, Fundação Nacional da Saúde. Manual de controle da água para técnicos que tratam em ETAS. Brasília: 2014.

GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. Orientações para a utilização de águas subterrâneas no Estado de São Paulo. FIESP, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; DMA, Departamento de Meio Ambiente; ABAS, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. São Paulo, 2005.

GIRARD, J. E. Princípios de química ambiental. Tradução Marcos José de Oliveira; revisão técnica Marco Tadeu Grassi. LTC, Rio de Janeiro, 2013.

GEO MUNDI. *Fontes de Energia e Poluição*. Disponível em: <<http://geomundi.cjb.net/>>. Acesso em: 11 set. 2023.

GOMES, M. A. F. Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã. Local: Embrapa, mar.2011.

GRAEBIN, Jênifer Thaís et al. Avaliação da eficiência de métodos comerciais para a redução da dureza da água e desenvolvimento de método instrumental para a determinação da dureza

total da água. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 8., 2019, Bento Gonçalves. 8º SICT. Bento Gonçalves: Sict Res, 2019. Disponível em: [https://eventos.ifrs.edu.br/index.php/Salao\\_IFRS/4salao/paper/viewFile/7816/3657](https://eventos.ifrs.edu.br/index.php/Salao_IFRS/4salao/paper/viewFile/7816/3657). Acesso em: 30 jun. 2023.

IAS. Instituto Água e Saneamento. Municípios e saneamento. São Paulo - SP, 2020. Disponível em: O saneamento em CURRAL VELHO | PB | Municípios e Saneamento | Instituto Água e Saneamento ([aguaesaneamento.org.br](http://aguaesaneamento.org.br)).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/cuite/panorama>

INSA. Instituto Nacional do Semiárido. População do Semiárido estimada para 2014. INSA, 2015

IPABHI. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1962>.

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

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 4. ed. Campinas: Átomo, 2016.

LIMA, W. S; GARCIA, C. A. B. Qualidade da Água em Ribeirópolis-SE: O Açude do Cajueiro e a Barragem do João Ferreira. Scientia Plena, Sergipe, v. 4, n. 12, p.1- 24, dez. 2008.

LÖBLER, Carlos Alberto; BORBA, Willian Fernando de; SILVA, José Luiz Silvério da. RELAÇÃO ENTRE A PLUVIOMETRIA E A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM ZONA DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI. Ciência e Natura, [S.L.], v. 37, n. 3, p. 115-121, 26 set. 2015. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x15833>.

LUCAS, A. A. T.; MOURA, A. S. A; NETTO, A de O. A; FACCIOL, G. G; SOUSA, I. F. Qualidade da água no riacho Jacaré, Sergipe e Brasil usada para irrigação. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 8, n. 2, p. 98-105, 2014.

LUCENA, D.V. De. *Avaliação da segurança da água de abastecimento por soluções alternativas na zona rural de Campina Grande – PB*. Dissertação Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Campina Grande, 2018.

MARION, F. A. et al. Proteção dos recursos hídricos subterrâneos a partir da vulnerabilidade natural dos aquíferos Guaraní e Serra Geral no Município de Sobradinho - RS. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 58ª, 2006, Florianópolis. Anais eletrônicos... São Paulo: SBPC/UFSC, 2006.

MARTINS, A. O planeta está sedento. Folha Universal. 16 nov. 2003. p.2A.

MEDEIROS FILHO; F.C; RAMOS J.F; SILVA, A.P.S; VELARDEZ, G.F. Análise Físico-Química de amostras de águas em diferentes cidades da Paraíba. II CONIDIS. Congresso Internacional Da Diversidade Do Semiárido. 2017.

MENDONÇA, Jean Karlo Acosta; FLORES, Jéssica Soares. Desenvolvimento de uma metodologia simples para determinação da dureza da água. ScientiaTec, Porto Alegre, v. 4, n. 1, p. 133-142, jun. 2017.

MONTEIRO, G. F; LIMA, B. A. T; SILVA, J. B. S; COSTA, T. S; SANTOS, M. B. H. Avaliação físico-química da água subterrânea de um poço do Município de Remígio-PB. III Congresso Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. Revista Realize, Campina Grande. 2018.

MS TECNOPON. Instrumentação Científica. Manual de instruções de medidor de condutividade de bancada, medidor de condutividade portátil (microprocessados). mCA-150/mCA-150P, mCA 100. Piracicaba/SP. Disponível em: (tecnopon.com.br).

NOLASCO, G. C.; GAMA, E. M.; REIS, B. M.; REIS, A. C. P.; GOMES, F. J. S.; MATOD, R. P. Análise da alcalinidade, cloretos, dureza, temperatura e condutividade em amostras de água do município de Almenara/MG. RECITAL - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara, 2(2), 52-64, 2020.

NOGUEIRA-DE-ALMEIDA, Carlos; RIBAS FILHO, Durval. Potencial hidrogeniônico da água e sua influência no organismo humano: um artigo de revisão. International Journal Of Nutrology, [S.L.], v. 11, n. 01, p. 16-23, set. 2018. Georg Thieme Verlag KG. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0038-1670718>.

NUNES, G.C.T; SIMÕES, G.S.T; PEZARINO, S. da R. Avaliação dos Parâmetros Físico-Químicos da Água Subterrânea utilizada nos Distritos de Campos dos Goytacazes, Rj. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços.

PARRON, L. M; MUNIZ, D. H. F; PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Embrapa Florestas: Colombo, 2011.

PHTEK. pHmetro de bancada microprocessado PHS-3B. Curitiba-PR. Detalhes técnicos em: [http://www.microtecnica.com.br/produtos\\_phmetro.php](http://www.microtecnica.com.br/produtos_phmetro.php).

REBOUÇAS, A. C. (2002). A política nacional de recursos hídricos e as águas subterrâneas. Revista Águas Subterrâneas nº. 16, maio 2002.

ROCHA, J. C., et al. Introdução a química ambiental. Bookman, Porto Alegre, 2004.

ROCHA, J.P.; LOPES, A. *POÇOS ARTESIANOS: uma reflexão na perspectiva da sustentabilidade*. Revista multidisciplinar, 2015. Disponível em: [http://www.unipacto.com.br/revistamultidisciplinar/arquivos\\_pdf\\_revista/revista2015\\_1/18.pdf](http://www.unipacto.com.br/revistamultidisciplinar/arquivos_pdf_revista/revista2015_1/18.pdf) f. Acesso: 10 out. 2023.

ROLOFF, Tatiana Aparecida. Efeitos da não aplicação do controle de qualidade da água nas indústrias alimentícias. SaBios: Revista de Saúde e Biologia, campo Mourão, v. 1,n.1. 2006.

ROSA, G., et al. Química Analítica: práticas de laboratório. Bookman, 2013.

ROSA, A. M. R.; GUARDA, V. L. M. Gestão de recursos hídricos no Brasil: Um histórico. Caxias do Sul: Direito Ambiental e Sociedade, v. 9, n. 2, 2019. Semestral.

SABESP – Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Tratamento de água: Saneamento Básico do estado de São Paulo. 2015. Disponível em:  
<https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=47>. Acesso em: 12 out. 2023.

SILVA, J. F. A.; PEREIRA, R. G. Panorama global da distribuição e uso de água doce. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.10, n.3, p.263-280, 2019.

SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. 2017. Disponível em:  
<https://www.gov.br/sudene/pt-br>. Acesso em: 22 out. 2023.

SPERLING, M.V. Introdução à Qualidade das Águas e Tratamento de Esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

SKOOG; WEST; HOLLER; CROUCH. Fundamentos de Química Analítica. Tradução da 8ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2005.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M., HOLLER, J.; CROUCH, S. R. Fundamentos de química analítica. 8ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2006.

SPERLING, M.V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2017.

TELLES, D. D.; COSTA. R.H. P. G. Reuso da água: Conceitos, Teorias e práticas. São Paulo: Blucher, 2007.311p.

UNESCO. *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*. Soluções baseadas na natureza para a gestão da água. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos. [S.L.]: Onu-Água, 2018. Disponível em: Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2018: soluções baseadas na natureza para a gestão da água, resumo executivo; 2018 (portalods.com.br).

VIEIRA, Priscilla Silveira de Lima; RODRIGUES, Jociely Jovelino; RIMAR, Karina Karla Pacheco Porpino. determinação dos parâmetros físico-químicos de águas minerais comercializadas em João Pessoa - PB. Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, 4., 2019, Campina Grande. Anais do IV CONAPESC. Campina Grande: Editora Realize, 2019. Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/56737>.

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*. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Química – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

WANDERMUREM, Adriana Valentim. *Contaminação por metais pesados em água, sedimentos e peixes do açude antas, Paraná/RN*. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Naturais, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – Uern, Mossoró, 2016. Disponível em: [https://www.uern.br/controladepaginas/mestradodissertacoesdefendidas/arquivos/2212adriana\\_final.pdf](https://www.uern.br/controladepaginas/mestradodissertacoesdefendidas/arquivos/2212adriana_final.pdf)

WATERWATCH AUSTRALIA. *Waterwatch Australia national technical manual: module 6 - groundwater monitoring*, Department of the Environment and Heritage, Canberra, ACT, 2005. Disponível em: <http://nrmonline.nrm.gov.au/catalog/mql:2875>. Acesso em 23 out. 2023.