



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

MARCELO FRANCISCO DOS SANTOS

**ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO E CONTAMINAÇÃO POR BACTÉRIAS
PATOGENICAS EM POÇOS RASOS NO MUNICÍPIO DE IGARASSU –
PERNAMBUCO, BRASIL**

**RECIFE
2023**

Marcelo Francisco dos Santos
Engenheiro Civil

**Estudo Físico - Químico e Contaminação por Bactérias Patogênicas em Poços Rasos no
Município de Igarassu – Pernambuco, Brasil**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na Área de Concentração de Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente – Controle e Remediação da Poluição.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Monthezuma S. Guerra
Coorientadores: Profa. Dra. Rosângela Gomes Tavares
Profa. Dra. Neide Kazue S. Shinohara

**RECIFE
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237e

Santos, Marcelo Francisco dos

Estudo físico-químico e contaminação por bactérias patogênicas em poços rasos no município de Igarassu - Pernambuco, Brasil / Marcelo Francisco dos Santos. - 2023.
67 f. : il.

Orientador: Sergio Monthezuma Santoianni Guerra.

Coorientador: Rosangela Gomes Tavares.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2023.

1. Aquíferos superficiais. 2. contaminação. 3. bactérias. I. Guerra, Sergio Monthezuma Santoianni, orient. II. Tavares, Rosangela Gomes, coorient. III. Título

CDD 620.8

MARCELO FRANCISCO DOS SANTOS

**Estudo Físico - Químico e Contaminação por Bactérias Patogênicas em Poços Rasos no
Município de Igarassu – Pernambuco, Brasil**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na Área de Concentração de Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente – Controle e Remediação da Poluição

Aprovada em 13 de julho de 2023.

Prof. Dra. Rosângela Gomes Tavares
Presidente da banca e Coorientadora Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcus Metri Correa
(PPEAMB / UFRPE)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dra. Leocádia Terezinha Cordeiro Beltrame
Membro externo - (Departamento de Tecnologia Rural / UFRPE)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

“Ao meu pai Cícero Francisco dos
Santos (*in memoriam*), com todo
amor do mundo e gratidão”

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a força maior que rege o universo, que de alguma maneira corroborou para que eu pudesse concluir mais esta etapa da minha vida acadêmica.

À minha mãe Josefa J. da Silva Santos, que sempre me incentivou e é a fonte da minha inspiração, sendo ela a pessoa mais importante em minha vida.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEAMB) minha sincera gratidão por me proporcionar uma base sólida para minha carreira acadêmica e profissional.

À Secretaria da Cidade do município de Igarassu por ter me proporcionado o apoio e a flexibilidade necessários durante meu período de estudos. Sua compreensão e suporte foram fundamentais para o equilíbrio das minhas responsabilidades profissionais com meu compromisso de busca pelo conhecimento científico.

A professora Neide Kazue Sakugawa Shinohara, pela atenção, “puxões de orelha” e conselhos dados durante esta pesquisa no qual me proporcionou um grande aprendizado.

Aos professores Sergio Monthezuma Santoianni Guerra e Rosângela Gomes Tavares pela orientação e conselhos dados durante este período. Onde destaco, o primeiro, que mesmo num momento de dificuldade pessoal nunca deixou de me dar o suporte necessário para que eu conseguisse concluir este trabalho.

À doutoranda Indira Maria Estolano Macedo e a técnica de laboratório Patrícia Karla Batista de Andrade, por darem significativas contribuições apartir das análises laboratoriais.

Aos meus amigos Filipe Alves do Nascimento, Débora Regina de Oliveira Braga, Helton Roger da Silva e Deyse Vieira da Silva que sempre me ajudaram neste período.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para que conseguisse realizar esse sonho.

Estudo Físico - Químico e Contaminação por Bactérias Patogênicas em Poços Rasos no Município de Igarassu – Pernambuco, Brasil

RESUMO

A crescente utilização de águas subterrâneas provenientes de poços superficiais no município de Igarassu, Região Metropolitana do Recife vem sendo uma alternativa utilizada por muitas famílias para suprir a falta de abastecimento periódico por parte da Companhia Pernambucana de Saneamento. Esse fato traz consigo o risco destas águas estarem contaminadas por microrganismos patogênicos em virtude da suscetibilidade destes tipos de aquíferos, logo, torna-se necessário a análise qualitativa de alguns poços em diferentes bairros do município, objetivando detectar contaminação por Coliformes Totais, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Clostridium perfringens*. Nessa análise também foi verificada a possibilidade da utilização de um clorador, a fim de verificar se o mesmo serviria como mitigador para a possível contaminação. As análises foram feitas em 8 (poços) em três meses distintos onde suas respectivas análises de parâmetros físico-químicos, biológicos e também a auxiliar (de fitoplânctons) foram realizados de acordo com metodologias oficiais. Para a microbiologia empregou-se a análise estatística de Variância (ANOVA) de fator duplo com repetição no qual os resultados mostraram que não houve diferença estatística significativa entre a água bruta e com cloro, representando a não eficiência do clorador na descontaminação das amostras em coleta direta, fato este corroborado pelos resultados das amostras que passaram pelo clorador, na análise de cloreto, nos quais não tiveram ganhos significativos. Em relação as bactérias heterotróficas constatou-se que Poço ENCA, sem cloro; Poço BEIR, sem cloro; Poço CONG, sem cloro; Poço AGAM e BONF, com e sem cloro apresentaram valores acima do recomendado para consumo humano, a presença de Coliformes Totais e *Escherichia coli*, só não foi constatada apenas nas amostras do poço BONF. A presença de *Pseudomonas aeruginosa* se deu em 4,17% do conjunto amostral, com presença confirmada nas amostras sem cloro dos Poços ENCA e CENT, já a presença de *Clostridium perfringens* se deu em 12,5% do conjunto amostral, onde destaca-se os Poços CONG, CENT, CAMP e AGAM, sem cloro e os Poços CAMP e AGAM, com cloro, contaminados, resultados estes que mostram a necessidade de monitoramento e descontaminação das águas de aquíferos superficiais no município de Igarassu.

Palavras-chaves: Aquíferos superficiais, contaminação, bactérias.

Physical - Chemical Study and Contamination by Pathogenic Bacteria in Shallow Wells in the Municipality of Igarassu – Pernambuco, Brazil

ABSTRACT

The increasing use of groundwater from surface wells in the municipality of Igarassu, Metropolitan Region of Recife has been an alternative used by many families to supply the lack of periodic supply by the Companhia Pernambucana de Saneamento. This fact brings with it the risk of these waters being contaminated by pathogenic microorganisms due to the susceptibility of these types of aquifers, therefore, it becomes necessary to carry out a qualitative analysis of some wells in different districts of the municipality, aiming to detect contamination by Total Coliforms, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Clostridium perfringens*. In this analysis, the possibility of using a chlorinator was also verified, in order to verify whether it would serve as a mitigator for possible contamination. The analyzes were carried out in 8 (wells) in three different months where their respective analyzes of physical-chemical, biological and also auxiliary parameters (of phytoplankton) were carried out according to official methodologies. For microbiology, statistical analysis of variance (ANOVA) was used with a double factor with repetition, in which the results showed that there was no statistically significant difference between raw and chlorinated water, representing the non-efficiency of the chlorinator in the decontamination of the samples being collected. directly, a fact corroborated by the results of the samples that passed through the chlorinator, in the chloride analysis, in which they did not have significant gains. Regarding heterotrophic bacteria, it was found that Poço ENCA, without chlorine; BEIR well, without chlorine; CONG well, without chlorine; Well AGAM and BONF, with and without chlorine, showed values above the recommended for human consumption, the presence of Total Coliforms and *Escherichia coli*, just wasn't found only in the samples from the BONF well. The presence of *Pseudomonas aeruginosa* occurred in 4,17% of the sample set, with confirmed presence in the samples without chlorine from the ENCA and CENT Wells, while the presence of *Clostridium perfringens* occurred in 12,5% of the sample set, where the CONG Wells stand out, CENT, CAMP and AGAM, without chlorine and the Wells CAMP and AGAM, with chlorine, contaminated, results that show the need for monitoring and decontamination of water from surface aquifers in the municipality of Igarassu.

Keywords: Surface aquifers, contamination, bacteria

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa Geológico de Igarassu.....	26
Figura 2: Mapa Fisiográfico de Igarassu.....	28
Figura 3: Mapa Pedológico de Igarassu.....	29
Figura 4: Acesso a água potável e tratamento de esgoto em Igarassu em 2020.....	31
Figura 5: Esquema de montagem do Clorador.....	34
Figura 6: Clorador confeccionado e utilizado na pesquisa.....	36
Figura 7: Tubos múltiplos na fase presuntiva.....	42
Figura 8: Tubos múltiplos contendo <i>Escherichia coli</i> (bege) Coliformes totais (verde).....	42
Figura 9: Tubos múltiplos do poço CENT contendo <i>Escherichia coli</i>	44
Figura 10: Placa de Petri do poço CENT contendo <i>Escherichia coli</i>	45
Figura 11: Placa de Petri do poço CENT contendo <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	47
Figura 12: Placa de Petri do poço CAMP com <i>Clostridium perfringens</i>	48
Figura 13: Coloração dos Poços CENT e BONF.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição pedológica de Igarassu de acordo com a antiga classificação EMBRAPA.....	29
Tabela 2: Caracterização dos Poços em Igarassu.....	33
Tabela 3: Número Mais Provável na utilização de tubos múltiplos.....	37
Tabela 4: Resultados microbiológicos para Bactérias Heterotróficas.....	40
Tabela 5: Resultados microbiológicos para Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> em água bruta e tratada.....	43
Tabela 6: Resultados microbiológicos para <i>Pseudomonas aeruginosa</i> e <i>Clostridium perfringens</i>	46
Tabela 7: Análise de variância em amostras coletadas sem cloro.....	50
Tabela 8: Resultados físico-químico (Ph e Turbidez).....	51
Tabela 9: Resultados físico-químico (Cloreto – mg/Lcl e Alcalinidade total – mg/L CaCO ₃).....	52
Tabela 10: Resultados Fitoplâncton para presença de <i>Cyclotella meniguiniana</i> , <i>Nitzschia</i> , <i>Flagillaria</i> e <i>Clorella</i>	53
Tabela 11: Acumulado de precipitação em mm de Dezembro de 2021 à Maio de 2022.....	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1 Recursos Hídricos e a crise do século XXI.....	16
3.2 Águas subterrâneas.....	16
3.2.1 Aquíferos.....	17
3.2.2 Pontos de captação de águas subterrâneas.....	19
3.2.3 Legislação sobre perfuração de poços e utilização de águas subterrâneas.....	20
3.3 Microbiologia Aquática.....	22
3.3.1 Fitoplânctons.....	22
3.3.2 Bactérias Heterotróficas.....	21
3.3.3 Bactérias do grupo Coliforme.....	23
3.3.4 <i>Clostridium Perfringens</i>	24
3.3.5 <i>Pseudomonas Aeruginosa</i>	24
3.4 Vulnerabilidade à poluição dos aquíferos livres por microrganismos.....	25
3.5 Geologia de Igarassu.....	26
3.6 Domínios Hidrogeológicos e uso de águas subterrâneas em Igarassu.....	27
3.7 Hidrografia de Igarassu.....	27
3.8 Aspectos Fisiográficos e Pluviometria de Igarassu.....	28
3.9 Saneamento Básico de Igarassu.....	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
4.1 Levantamento bibliográfico.....	31
4.2 Identificação e caracterização dos poços rasos de captação de águas subterrâneas no município de Igarassu a serem analisados.....	32
4.3 Coleta das amostras, bruta e tratada, para análises físico-químicas e microbiológicas.....	33
4.3.1 Utilização do Clorador.....	34
4.3.2 Técnica de análise microbiológica.....	36
4.3.3 Análise estatística.....	38
4.3.4 Técnica análise físico-química.....	38
4.3.5 Técnica análise fitoplâncton.....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1 Bactérias Heterotróficas.....	39
5.2 Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i>	41
5.3 <i>Pseudomonas aeruginosa</i> e <i>Clostridium perfringens</i>	45
5.4 Análise estatística.....	48
5.5 Análises físico-químicas.....	50
5.6 Resultados Fitoplâncton.....	53
5.7 Precipitação no período das coletas das amostras.....	54
5.8 Coloração das amostras.....	54
6 CONCLUSÃO.....	55
REFERÊNCIAS.....	58

1. INTRODUÇÃO

O ciclo da água está diretamente ligado ao clima no Planeta Terra, desta forma há de se entender que a variabilidade no clima gerada por ciclos anuais, pode proporcionar déficit hídrico ou excessos de precipitação pluviométricas, ou seja, períodos que ocorrem secas e períodos que ocorrem inundações (SANTOS *et al.*, 2017).

No Brasil nos períodos de secas, o aumento do risco de escassez hídrica, são mais marcantes e perceptíveis em algumas regiões do que em outras, como a exemplo do semiárido nordestino, onde este evento climático, apesar de ser previsível, assume grande importância no cotidiano das populações locais, nas atividades econômicas e ainda pode repercutir na biodiversidade local (MACEDO *et al.*, 2017).

Em outras regiões brasileiras, a exemplo da Região Metropolitana do Recife, o problema de escassez hídrica ganha destaque em função das reduções da pluviosidade em alguns períodos do ano, causando interrupção na oferta prevista de água para o abastecimento público e também em outros serviços do setor primário, à exemplo da geração de energia elétrica e da irrigação (ANA, 2014).

A demanda por água vem crescendo constantemente nas últimas décadas em função de aspectos como aumento populacional e aumento do desenvolvimento econômico, o que impacta diretamente em função das limitações dos recursos hídricos disponíveis, reduzindo o acesso das populações à água potável (SHARMA & VAIRAVAMMOORHY, 2009).

Arelado às limitações dos recursos hídricos, principalmente nos centros populacionais, há de se destacar o processo de deterioração progressivo da qualidade dos mesmos, vinculados diretamente aos processos de poluição, que impulsionam discussões acerca do debate sobre o futuro deste recurso e quais as possibilidades mitigadoras no fornecimento de água para atividades humanas e processos produtivos da economia de bens e serviços (FARIA *et al.*, 2010).

As águas advindas de aquíferos superficiais e profundos são alternativas mitigadoras para o abastecimento de água em muitos municípios de todas as regiões no Brasil, respondendo por cerca de 52% do abastecimento para as populações vulneráveis, que em muitos casos são consumidas e utilizadas de forma bruta, sem tratamento químico adequado para atestar o consumo seguro (HIRATA *et al.*, 2019).

Vale salientar que desde a década de 1970 há uma intensificação na utilização dos aquíferos, sendo estes a cada dia que passa, mais utilizados por diversos fatores como: avanços da hidrogeologia com melhoria nas técnicas de perfuração de poços; redução nos custos de extração; menor suscetibilidade climática; a qualidade das águas subterrâneas; aumento da

demanda; e degradação das águas superficiais (REBOUÇAS, 2002).

Essa intensificação é perceptível no Município de Igarassu, Região Metropolitana do Recife, sobretudo no que concerne a utilização de águas provenientes de aquíferos superficiais e profundos, de maneira a suprir a necessidade de abastecimento de muitas famílias, em virtude de não terem o abastecimento regular fornecido pela Empresa de Saneamento do estado de Pernambuco.

Atrelado a este tipo de consumo, por parte dessa população à margem do acesso a recurso hídrico do poder público, é sabido que a água deste tipo de aquífero é bastante susceptível a processos de contaminação, sobretudo contaminação microbiológica provenientes da falta de saneamento básico.

Contudo sabe-se que há uma gestão ambiental deficiente na utilização de aquíferos, pois os mesmos estão sempre atrelados a superexploração e facilmente expostos à efluentes domésticos e industriais, bem como à falta de monitoramento pelos órgãos de fiscalização.

Vale ressaltar ainda a ausência de dados disponíveis dos seus níveis, qualidade das águas, litologia, quantidade de usuários e vulnerabilidade ambiental (GOETTEN, 2015).

De acordo com Hirata *et al.* (2019), a falta de monitoramento e fiscalização pelos órgãos governamentais pode agravar problemas como excesso de exploração, contaminação por atividades humanas, disposição inadequada de efluentes domésticos e industriais, dificultando solução de problemas em tempo hábil.

Partindo do pressuposto que a grande maioria do território de Igarassu (rural e urbano) não tem coleta e tratamento de águas residuais é comum a utilização de fossas como ferramenta de destinação final dos esgotos. Esse fato propicia o processo de contaminação das águas dos aquíferos superficiais, devido a maior permeabilidade dessa formação geológica, permitindo o contato entre o poluente e a água, condicionando as mesmas a terem uma relação direta com doenças de veiculação hídrica (SOUZA, 2009).

Contudo, por mais que exista redes coletoras e de tratamento de esgoto em uma pequena parte do município, isso não significa que sua simples presença é o suficiente para assegurar a proteção dessas águas em virtude da deterioração das redes, que propiciam vazamentos de esgotos domésticos e industriais. Outra fonte de contaminação microbiológica é a ausência de limpeza periódica dos reservatórios domésticos por parte da população e empresas, fato este muito comum e que podem prejudicar a qualidade sanitária da água a ser consumida.

Uma alternativa tecnológica autorizada pelos órgãos de fiscalização para eliminação de patógenos entéricos em recursos hídricos, é a cloração com pastilhas de cloro ou adição de cloro em outros formatos físicos usando protocolos ou equipamentos, conforme determinação de resoluções e normas sanitárias vigentes no Brasil (BRASIL, 2017).

Objetivando conhecer o quanto essas águas são impactadas com o processo de contaminação microbiológico, é de fundamental importância a vigilância hídrica, sobretudo para se buscar realizar medidas mitigadoras no processo de sanitização. Assim, como ferramenta de monitoramento, a coleta e ensaios laboratoriais das amostras de águas provenientes de poços rasos no município de Igarassu, é uma alternativa a ser feita para se ter o conhecimento da qualidade físico-química e microbiológica desses recursos hídricos e como podem ser usadas alternativas de tratamento para consumo seguro.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar a contaminação por enterobactérias e microrganismos patogênicos em poços rasos em diferentes bairros do município de Igarassu/PE.

2.2 Objetivos Específicos

1. Detectar a contaminação por Coliformes Totais, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Clostridium perfringens* de amostras de água em 8 poços rasos no município de Igarassu – PE;
2. Comparar os resultados dos ensaios biológicos e físico-químicos entre os diferentes poços para a observação/comprovação do nível de contaminação de cada área;
3. Discutir possível(eis) fator(es) causador(es) da contaminação da água, e apontar sugestões para melhorar a qualidade e a realidade de insegurança hídrica;
4. Identificar a eficácia do clorador de pastilhas através de análises microbiológicas, no processo de descontaminação como medida mitigadora.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Recursos Hídricos e a crise do século XXI

O século XXI vive uma crise hídrica, onde diversos especialistas divergem em relação aos motivos de suas causas, principalmente quanto ao gerenciamento dos recursos hídricos do que à escassez dos mesmos, podendo estar ligados à aspectos ambientais, econômicos e de desenvolvimento social. (GLEICK, 2000; ROGERS, 2006).

Para Jacobi *et al* (2015), há falta de investimentos em infraestrutura de saneamento e tratamento de água, o que agrava a poluição ambiental e degradação dos recursos hídricos. Segundo Macedo, Shinohara e Oliveira (2020), a água contaminada com efluentes pode levar à ocorrência de diversas doenças de veiculação hídrica, causadas pela propagação de enterobactérias, como a *Escherichia coli* e *Salmonella sp.* oriundas do trato digestivo humano.

As alterações hidrológicas induzidas pelas mudanças climáticas já adicionam desafios à gestão dos recursos hídricos, que já estão sob forte pressão em muitas regiões no mundo, ampliando os extremos relacionados ao acesso à água, como inundações e secas. Secas estas que implicam diretamente no abastecimento de água para as populações (IPCC, 2019).

Há de se observar que essa crise tem como causas alguns aspectos como crescimento da população e consecutivamente da demanda por água, principalmente nas áreas urbanas, despejo de águas residuais em corpos d'água, aos quais impossibilitam sua utilização, mudanças climáticas globais que estão alterando a dinâmica hidrológica e problemas na falta de ações governamentais no âmbito da governança dos recursos hídricos (GLEICK, 2000; MACEDO *et al.*, 2021).

3.2 Águas subterrâneas

As águas subterrâneas são todas aquelas que ocorrem abaixo da superfície do solo, nas quais preenchem os vazios entre os grânulos das rochas sedimentares, ou fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças, adesão e de gravidade, desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, brejos e lagos (BORGES *et al.*, 2017).

As águas subterrâneas ocorrem naturalmente no subsolo, em espaços de poros e fissuras nas camadas geológicas e litológicas, abaixo da superfície terrestre (IAH, 2013; USGS, 2013).

As águas subterrâneas possuem distribuição bastante variável, assim como as águas superficiais, por estarem no contexto do ciclo hidrológico, contudo as mesmas são 100 vezes

mais abundantes que as águas superficiais em rios e lagos (SHIKWMANOV, 1998). Este recurso hídrico vêm ganhando grande importância estratégica no abastecimento da população nas últimas décadas, onde vários núcleos urbanos são abastecidos de água subterrânea de forma exclusiva ou complementar com águas de abastecimento público, sendo utilizada em escolas, hospitais e outros estabelecimentos (ANA, 2002).

As águas subterrâneas são bastante utilizadas também no meio rural na irrigação, sendo um importante insumo na cadeia produtiva para garantia de obtenção de alimentos e animais de corte, cabendo a análise da qualidade da mesma para seu uso. Contudo, existe uma falta de dados precisos sobre a utilização de águas subterrâneas no Brasil, atrelado à falta de governança efetiva desses recursos hídricos (BRAGA *et al.*, 2020).

No Brasil, a estimativa de utilização dessas águas é de um volume de 17.580 milhões de m³ ao ano, tendo cerca de 2,5 milhões de poços, os quais abastecem parcialmente ou integralmente importantes cidades e regiões do país, como por exemplo a Região Metropolitana do Recife, que tem o abastecimento urbano e industrial na ordem de 15% apenas pelo sistema administrado pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Nesse contexto, destaca-se o pouco conhecimento acerca dos volumes extraídos por poços particulares, estes sendo responsáveis pela maioria das águas subterrâneas exploradas (ANA, 2002; FILHO, 2004; FUNDAJ, 2019).

Logo, o uso/disponibilidade de recursos hídricos é de grande importância, no que concerne, ao auxílio na melhoria dos índices sociais das localidades, crescimento econômico, geração de emprego e renda, melhoria dos níveis de pobreza e promoção da dignidade de tais populações (HIRATA *et al.*, 2019).

3.2.1 Aquíferos

De acordo com a Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2023), o processo de infiltração das águas das chuvas com o passar dos milhões de anos condicionou a formação de reservas hídricas subterrâneas, sendo estas de grande valor para o abastecimento da população em geral, onde as águas que se armazenam em pequenas profundidades formam os lençóis freáticos que exercem papel fundamental na vazão dos cursos d'água em períodos mais secos.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH, na Resolução N° 15/2001 no Art. 1º III, define aquífero como:

“corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos”.

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2022), informa que os aquíferos são como uma formação geológica na qual contém água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem no seu interior em condições naturais, sendo estas, formações permeáveis, tais como arenitos e areias.

Já de acordo com Osório (2004), os aquíferos podem receber várias denominações, a depender da linguagem regional, do profissional que o emprega e outros fatores que contribuem para o correto e incorreto emprego dos termos que diferenciam os tipos de aquíferos existentes.

Um fator primordial no qual diferenciam os tipos de aquíferos é ligado a sua pressão de água, podendo os mesmos serem divididos de acordo com a CPRM (2022) em Aquíferos Livres; Aquíferos Confinados; Aquíferos Confinados Não Drenantes, Aquíferos Confinados Drenantes e Aquíferos Suspensos, tendo as seguintes definições:

1. Aquífero livre

Também chamado de freático ou não confinado, é aquele cujo limite superior é a superfície de saturação ou freático, na qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica. Podendo também ser coberto.

2. Aquífero confinado

Também chamado de aquífero sob pressão, é aquele onde a pressão da água em seu topo é maior do que a pressão atmosférica. Em função das camadas limítrofes, pode ser definido como: confinado, não drenante e confinado drenante.

2.1 Aquífero confinado não drenante

É aquele em que as camadas limítrofes, inferior e superior, são impermeáveis. Na captação por sondagem nesse tipo de aquífero, a água jorra naturalmente, sem necessidade de bombeamento: são os poços denominados “jorrantes” ou “artesianos”.

2.2 Aquífero confinado drenante

É aquele que pelo menos uma das camadas limítrofes é semipermeável, permitindo a entrada ou a saída de fluxos.

2.3 Aquífero suspenso

É um caso especial de aquífero livre formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável que nem armazena nem transmite água.

Em relação à geologia do material saturado, o Departamento de Recursos Minerais – DRM/RJ (2001), os classifica em:

1. Aquíferos granulares, porosos ou intersticiais

Aqueles em que a água está armazenada e flui nos espaços entre os grãos em sedimentos e rochas sedimentares de estrutura granular, (arenitos e aluviões); Aquíferos Fraturados, Fissurais, Fissurados ou descontínuos;

2. Aquíferos cárstico ou cavernosos

Aqueles nos quais a água se faz presente em cavidades produzidas pela dissolução causada pelas águas, (calcários e mármore);

3. Aquíferos fissurais, fissurados ou descontínuos

Aqueles nos quais a água está presente nas fraturas e fendas das rochas cristalinas, (granitos, gnaisses e diabásios).

Em relação aos aquíferos no Estado de Pernambuco, os mesmos são caracterizados em dois tipos: intersticiais e fissurais (COSTA FILHO e COSTA, 2000).

3.2.2 Pontos de captação de águas subterrâneas

Para Vasconcelos (2015), não há uma padronização nacional nos termos aos quais dão nome aos pontos de captação de águas subterrâneas, sendo estas citadas em função da regionalização brasileira. No mais, esses pontos recebem diversas denominações como: cacimba, cacimbão, poço amazonas, cisterna, poço profundo, poço raso, poço artesiano entre outros.

Quando se trata de poços, os mesmos podem ser divididos em dois grupos (poços escavados e poços tubulares), sendo os escavados caracterizados por possuir um diâmetro superior a 50 cm, com profundidades que variam de um metro a algumas dezenas de metro (VASCONCELOS, 2015).

Ainda de acordo com Vasconcelos (2015), em relação a formação geológica do local, este tipo de poço ainda pode ser dividido em três classes, sendo elas: cacimba, cacimbão e

amazonas, cada um com especificidades distintas que envolvem diferenças nos seus diâmetros e na existência ou não revestimento. Já os tubulares possuem um revestimento em PVC ou em aço com diâmetro inferior a um metro sendo subdividido em mais duas classes, sendo elas: freáticos, artesianos, artesianos não jorrantes e artesianos jorrantes, cada uma tendo sua diferenciação em função de especificidades distintas, sobretudo em função da sua carga hidráulica.

3.2.3 Legislação sobre perfuração de poços e utilização de águas subterrâneas

Na esfera nacional destaca-se a Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o qual aponta como uma das infrações das normas de utilização de recursos hídricos subterrâneos a perfuração e a operação de poços para a extração de água, sem a devida autorização dos órgãos competentes. Em resumo esta lei tem como objetivo promover a gestão dos recursos hídricos de forma integrada e participativa, garantindo sua disponibilidade e qualidade (BRASIL, 1997). Vale destacar que a mesma não faz distinção entre poços rasos e poços profundos.

A redação da Lei nº 9.984/2000 cria a Agência Nacional de Águas (ANA) e estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, aborda a gestão das águas subterrâneas em seu artigo 8º, que estabelece que a ANA é responsável pela coordenação da gestão das águas subterrâneas de domínio da União (BRASIL, 2000).

A Resolução nº 396/2008 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) - Estabelece critérios e procedimentos para a utilização de água de aquíferos subterrâneos por meio de poços. Dentre as principais determinações da resolução, destacam-se:

- A obrigatoriedade de licenciamento ambiental para a perfuração de poços e para a utilização de águas subterrâneas, observadas as normas específicas de cada estado;
- A necessidade de estudos hidrogeológicos para avaliação das condições de disponibilidade, qualidade e sustentabilidade da água subterrânea;
- A proibição de lançamento de efluentes e de substâncias poluentes nos poços;
- A definição de limites para a captação de água subterrânea, com base nos estudos hidrogeológicos e na legislação vigente;
- A obrigação de monitoramento das águas subterrâneas, para avaliação da qualidade e quantidade da água captada e dos impactos ambientais gerados.

Resumidamente, seu objetivo é garantir o uso racional e sustentável das águas

subterrâneas por meio de poços, visando à preservação dos recursos hídricos e da qualidade do meio ambiente (BRASIL, 2008).

Resolução nº 420/2009 do CONAMA – não trata especificamente das águas subterrâneas, mas sim dos critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. No entanto, é importante ressaltar que a contaminação do solo pode afetar diretamente as águas subterrâneas, uma vez que o material contaminante pode se infiltrar no solo e atingir o lençol freático, comprometendo a qualidade da água subterrânea. Nesse sentido, a resolução estabelece diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas, que podem ser aplicadas para prevenir a contaminação das águas subterrâneas e garantir sua preservação e uso sustentável (BRASIL, 2009).

A Lei nº 13.123/2015, também conhecida como Lei da Biodiversidade, não se refere especificamente às águas subterrâneas, mas sim ao acesso ao patrimônio genético e ao conhecimento tradicional associado, e à repartição dos benefícios decorrentes do uso comercial desses recursos, inclusive no caso de recursos hídricos. No entanto, as águas subterrâneas são recursos hídricos e, portanto, estão sujeitas às regras de acesso e uso estabelecidas na lei. De acordo com a lei, o acesso aos recursos hídricos deve ser feito de forma sustentável, garantindo a preservação da biodiversidade e dos conhecimentos tradicionais associados. Além disso, os benefícios decorrentes do uso comercial desses recursos devem ser repartidos de forma justa e equitativa entre os detentores do patrimônio genético e do conhecimento tradicional associado e os usuários desses recursos. Portanto, a Lei nº 13.123/2015 tem como objetivo garantir a proteção e uso sustentável dos recursos hídricos, incluindo as águas subterrâneas, e a repartição justa e equitativa dos benefícios decorrentes do seu uso comercial (BRASIL, 2015).

Já a redação dada pela Lei 14.066, de 2020, deixa a critério da autoridade competente a aplicação das seguintes penalidades, independentemente de sua origem de enumeração: multa, simples ou diária, proporcional à gravidade da infração, de R\$ 100,00 (cem reais) a R\$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais) (BRASIL, 2020).

Em esfera estadual Pernambuco tem uma legislação própria sobre conservação e proteção das águas subterrâneas, tendo como marco a Lei nº 11.427, de 17 de janeiro de 1997, ao qual não especifica a diferenciação entre normas para poços rasos e profundos (PERNAMBUCO, 1997).

Na Resolução CRH nº 02, de 12 de março de 2020, especifica a necessidade de análises físico-químicas e microbiológicas em águas subterrâneas para fins de outorga e licença

ambiental, assim sendo necessário a análise do quantitativo de coliformes total e termotolerantes presentes nas águas (CRH, 2020).

3.3 Microbiologia Aquática

3.3.1 Fitoplânctons

De acordo com Dias e Huszar (2011) os fitoplânctons são um grupo de microrganismos fotossintetizantes, compostos por algas, cianobactérias e algumas poucas bactérias que estão adaptados a viverem na água aberta, no qual é estimado cerca de 4 mil espécies de corpos d'água continentais, tendo grande variedade de formatos, estando os mesmos ligados as condições locais de cada corpo d'água.

Fitoplânctons também podem ser definidos como "organismos unicelulares e multicelulares que flutuam livremente na coluna de água e realizam fotossíntese para produzir matéria orgânica a partir de nutrientes dissolvidos e energia solar (WARD *et al.*, 2021).

3.3.2 Bactérias Heterotróficas

Segundo Domingues *et al.* (2007), as bactérias heterotróficas são genericamente definidas como microrganismos que necessitam de carbono orgânico para o seu desenvolvimento.

Para Klein (2017) as bactérias heterotróficas são organismos microscópicos que obtêm energia e nutrientes de outras fontes orgânicas, como plantas e animais mortos, bem como de outros seres vivos, incluindo bactérias e fungos. Elas são importantes decompositoras no ecossistema, ajudando a reciclar nutrientes e manter a saúde do solo e da água. Além disso, algumas bactérias heterotróficas podem ser patogênicas, causando doenças em humanos e outros animais.

De acordo com Oliveira *et al.* (2022), esse grupo inclui-se bactérias primárias e secundárias dos gêneros *Aeromonas*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella*, *Pseudomonas* e *Serratia*. A presença de *Aeromonas*, *Klebsiella* e *Pseudomonas*, deve ser interpretada como indicativo de que o tratamento da água no caso de estações de tratamento de água está deficiente, ou no caso de água para consumo, de que o controle de qualidade microbiológica pode não estar funcionando de maneira eficaz.

3.3.3 Bactérias do grupo Coliforme

A água potável não deve conter microrganismos patogênicos e estar livre de bactérias indicadoras de contaminação fecal (FUNASA, 2013). Para Silva *et al.* (2017), o grupo de Coliformes Totais inclui bactérias capazes de fermentar a lactose com produção de ácidos, aldeídos e gás, em 24/48 horas a 35° C, abrangendo os seguintes principais gêneros de bactérias: *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter* e *Citrobacter*.

Segundo Cardoso *et al.* (2001) esta definição enquadra no grupo de Coliformes termotolerantes, porém, restringindo-se aos membros capazes de fermentar a lactose com produção de gás por 24 horas/48 horas a 44,5 - 45,5°C.

Segundo Mascarenhas *et al.* (2002), a presença de Coliformes Totais é um indicador higiênico sanitário de ambiente, e o de Coliformes Termotolerantes é um condicionante que comprova a contaminação por material fecal. Esses agentes biológicos habitam o intestino de animais e são utilizados na avaliação microbiológica da qualidade microbiológica das águas para uso humano, tendo a espécie *Escherichia coli* como maior representante do subgrupo dos Coliformes Termotolerantes (MORAIS, 2016; MACEDO *et al.*, 2019).

Naturalmente, os Coliformes Termotolerantes (*Escherichia coli*) não são encontrados em mananciais que abastecem a população, devido ao alto risco de provocar doenças de veiculação hídrica. No entanto, este enteropatógeno tem como habitat natural o trato gastrointestinal do homem e de animais homeotérmicos e, quando estão presentes nos corpos d'água, é um indicativo de contaminação por material fecal (MACEDO *et al.*, 2019).

Segundo a portaria GM/MS N° 888 de 2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021), os principais indicadores de contaminação fecal são as concentrações de Coliformes Totais e Coliformes Fecais, expressa em número de organismos por 100 mL de água. É permitido em sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês pelo responsável pelo sistema.

Já em sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes a resolução define que deve ter ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês, pelo responsável pelo sistema. (BRASIL, 2021).

Esses parâmetros são estabelecidos com intuito de se prevenir a proliferação de doenças de veiculação hídrica ligadas ao grupo coliformes, como febre tifoide, cólera, salmonelose, shigelose, poliomielite, hepatite, verminoses, amebíase e giardíase, que são predominantemente resultantes do ciclo de contaminação fecal/oral e têm sido responsáveis por vários surtos

epidêmicos, representando causa de elevada taxa de mortalidade em indivíduos com baixa resistência imunológica (ALENCAR *et al.*, 2020).

3.3.4 *Clostridium Perfringens*

De acordo com Souza (2017) *Clostridium Perfringens* é uma bactéria Gram-positiva que pode ser encontrada em praticamente todos os ambientes, tendo prevalência no intestino dos seres vivos, vegetação em decomposição, solos e também em cursos d'água (MATCHES *et al.*, 1974; BEZIRTZOGLU *et al.*, 1994; MAHEUX *et al.*, 2013).

Segundo Albornoz (2014) a presença *Clostridium Perfringens* no organismo pode desenvolver gangrena gasosa devido a intoxicações alimentares, e diarreias associadas a usos de antibióticos em humanos (ROOD *et al.*, 1997). Ainda de acordo com Albornoz (2014) esse patógeno é associado a doenças inflamatórias crônicas, como colite ulcerativa e doença de Crohn também citado por alguns autores como patógeno que contribui para o desenvolvimento de câncer de cólon (PRUTEANU *et al.*, 2011; PRUTEANU; SHANAHAN, 2013).

Na água de consumo sua presença é bastante preocupante pois sua ingestão pode causar Gastroenterite e Enterite necrosante, ambas infecções que podem levar a morte (BROOKS *et al.*, 2001; QUINTELA, 2017).

3.3.5 *Pseudomonas aeruginosa*

A *Pseudomonas aeruginosa* é uma bactéria Gram-negativa, aeróbica, não fermentadora, móvel e com forma de bastonete que é comum no ambiente, podendo ser encontrada em solos, água e plantas. É um patógeno oportunista que pode causar infecções em humanos, especialmente em pacientes imunocomprometidos ou com fibrose cística. Além disso, *P. aeruginosa* é conhecida por sua capacidade de formar biofilmes e desenvolver resistência a antimicrobianos (STREETER e KATOULI, 2016).

Segundo Pinheiro (2023), ela é considerada uma bactéria oportunista que tem a capacidade de colonizar uma ampla variedade de hospedeiros, onde em humanos podem ser encontradas, comumente, em feridas de queimaduras, infecções do trato urinário e em doenças pulmonares.

O estudo desta bactéria na água de consumo é de fundamental importância, pois sua presença está relacionada com surtos de gastroenterites de vinculação hídrica (COELHO *et al.*, 2010).

3.4 Vulnerabilidade à poluição dos aquíferos livres por microrganismos

Segundo Ribeiro (2004), a vulnerabilidade é uma série de características que envolvem desde o solo, a recarga e os parâmetros hidráulicos do aquífero, que fazem com que o mesmo resista ou não aos impactos sofridos na sua capacidade de restauração.

Nesse contexto existem várias definições e abordagens para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos, incluindo:

- Vulnerabilidade intrínseca (ou natural) de aquíferos que pode ser definida como a suscetibilidade natural do aquífero à contaminação, que é influenciada por características físicas, geológicas e hidrológicas, bem como por atividades humanas que afetam o uso da terra e a qualidade da água subterrânea (VURBA e ZAPOREZEC, 1994; WANG *et al.*, 2011);
- Vulnerabilidade específica (ou integrada) de aquíferos que pode ser definida como a suscetibilidade do aquífero à contaminação devido às atividades humanas que afetam a qualidade da água subterrânea (VURBA e ZAPOREZEC, 1994; PATHAK *et al.*, 2009);

Para Heitor & Pina (2003), as águas subterrâneas que anteriormente foram consideradas protegidas, hoje são degradadas, pela atividade humana, sobretudo pela infiltração de muitos poluentes. Logo há uma crescente preocupação, pois a água subterrânea está sofrendo grande pressão devido às contaminações, tornando-se uma problemática frequente na gestão de tais recursos.

Partindo desses pressupostos, os aquíferos livres em função da sua permeabilidade, naturalmente se apresentam como mais susceptíveis a processos de contaminação em contraponto aos aquíferos confinados, estes com baixa vulnerabilidade em função da inacessibilidade hidráulica, que não permite a percolação dos poluentes até as águas (SOUZA, 2009).

De acordo com Souza (2009), os esgotos e fossas negras são uma das fontes comuns de poluição das águas subterrâneas, contaminação esta que ocorre devido ao lançamento de esgotos diretamente sobre a água e/ou solo e vazamento de coletores de esgotos.

As principais fontes de poluição são as atividades humanas, incluindo o lançamento inadequado de resíduos sólidos, esgotos e produtos químicos. A contaminação das águas

subterrâneas pode ter efeitos graves na saúde pública e no meio ambiente, sendo importante desenvolver estratégias para monitorar e controlar a qualidade da água subterrânea, a fim de garantir sua proteção e uso sustentável (SRINIVASAMOORTHY *et al.*, 2020).

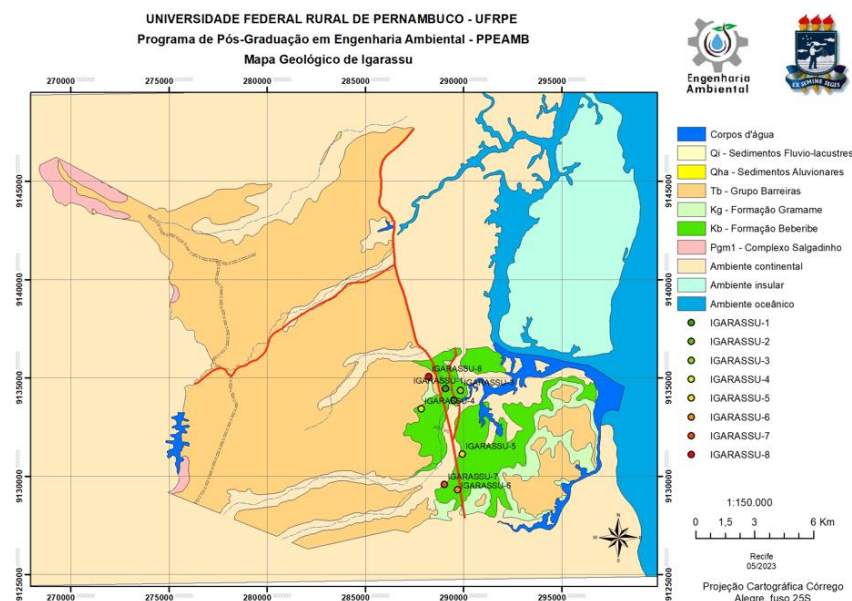
3.5 Geologia de Igarassu

De acordo com a CPRM (2005), o município de Igarassu, geologicamente está inserido na província Borborema, constituído do Complexo Salgadinho e da formação sedimentar das formações Beberibe e Gramame do grupo Barreiras e também dos Depósitos Flúvio-marinhos e Aluvionares, dos quais ganha-se destaque a formação sedimentar, presente em quase todo o município (figura 1).

Nesse contexto de acordo com o Atlas Geológico do Estado de Pernambuco (CPRM, 2010), a formação Barreiras é caracterizada por apresentar um relevo suave, com colinas e vales, e sua idade é do período que varia do Cretáceo Superior e o Terciário Inferior, o que inclui o período Cenozoico, com cerca de 50 a 70 milhões de anos .

Já o destaque dado pelo Atlas Geológico do Estado de Pernambuco (CPRM, 2010) para a formação Beberibe é que o mesmo tem a formação caracterizada por apresentar um relevo plano e suave, com áreas de dunas e planícies de inundação, e sua idade é do período Cretáceo, com cerca de 100 a 145 milhões de anos sendo importante para o abastecimento de água na região, uma vez que apresenta alta permeabilidade e armazenamento de água subterrânea.

Figura 1: Mapa Geológico de Igarassu



Fonte: Autoria própria, 2022

3.6 Domínios Hidrogeológicos e uso de águas subterrâneas em Igarassu

De acordo com a CPRM (2005), o município de Igarassu está inserido em três domínios Hidrogeológicos, sendo eles: Domínio Hidrogeológico Intersticial, Domínio Hidrogeológico Cárstico-fissural e no Domínio Hidrogeológico Fissural, sendo o Domínio Intersticial formado por rochas sedimentares advindas da Formação Beberibe, Grupo Barreiras, Depósitos Aluvionares e Depósitos Fluvio-marinhos; o Fissural composto por rochas do embasamento cristalino, formado por rochas metamórficas do Complexo Salgadinho. Já o Cárstico-fissural é definido por rochas sedimentares, rochas carbonáticas e rochas siliciclássicas (ANA, 2018).

Contudo, vale destacar que a utilização das águas subterrâneas destas formações é feita tanto pela exploração dos aquíferos profundos (confinados) como pelos aquíferos superficiais (livres), sendo os superficiais ainda pouco estudados, o que subnotifica o real quantitativo de poços utilizados no município, sobretudo pelo aumento na utilização dos mesmos nos últimos anos, devido aos fatores correlatos à crise hídrica, que engloba fatores climáticos e de má gestão dos recursos hídricos.

Isso pode ser exemplificado pelo fato de que até o ano de 2005 haviam apenas o cadastro da existência de 58 pontos de captação das águas subterrâneas no município, todos poços tubulares, sendo subdivididos na proporção de 35 pontos em terrenos públicos e 23 pontos em terrenos privados (CPRM, 2005).

Um outro aspecto a ser destacado que pode ser correlacionado com os aquíferos superficiais em Igarassu, é que devido a sua composição, com distribuição de rochas granulares em condição superficial, os mesmos podem ser considerados de baixa qualidade hidrogeológica, fato este caracterizado pela susceptibilidade à contaminação por efluentes ou poluição de águas infiltradas (SANTOS *et al.*, 2011).

3.7 Hidrografia de Igarassu

De acordo com o Diagnóstico do município de Igarassu (CPRM, 2005), o território de Igarassu está inserido nos domínios do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Costeiros, tendo como principais rios: Igarassu, Palmeira, Jarapiá, Cumbé, Catucá, Botafogo, Itapicuru, Tabatinga, das Pacas, Paripe, Conga, Bonança, Utinga, Monjope e Maniquara (figura 2).

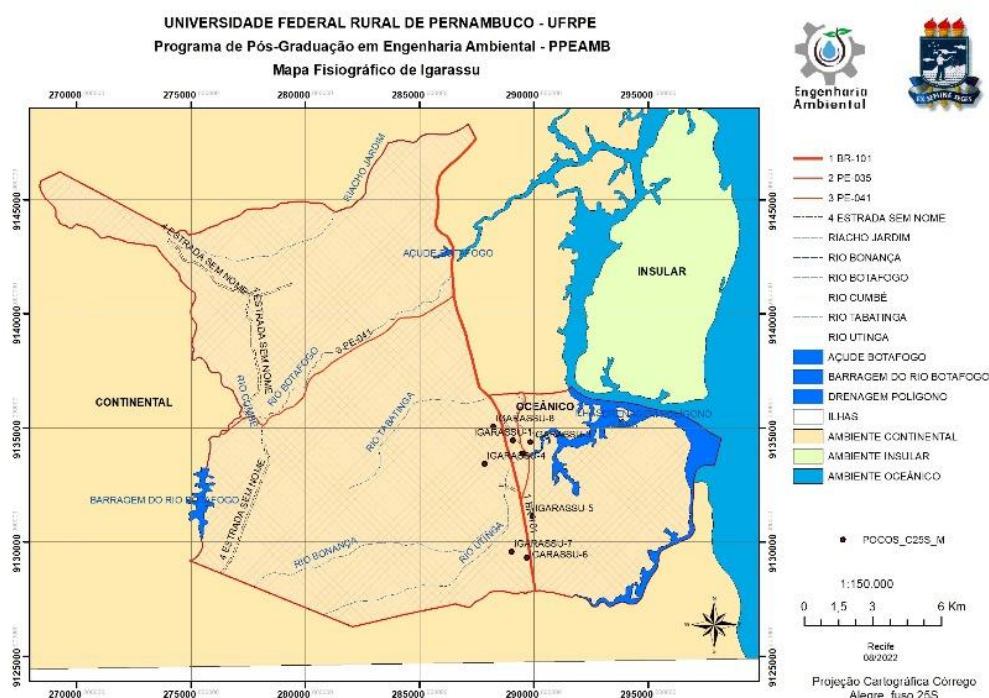
Ainda de acordo com a CPRM (2005), o município destaca-se pela presença dos riachos: Jardim, Sto. Antônio, do Acio, do Paulo, Arrombado e o Arroio Desterro. O principal açude é o Botafogo (28.800.000 m³). Todos os cursos d'água no município têm regime de escoamento

perene e o padrão de drenagem é o dendrítico.

3.8 Aspectos Fisiográficos e Pluviometria de Igarassu

De acordo com o Diagnóstico do município de Igarassu (CPRM, 2005), o relevo de Igarassu faz parte da unidade dos Tabuleiros Costeiros que acompanha todo litoral nordestino, onde sua altitude varia entre 50 a 100 metros. Formados por platôs sedimentares, que apresentam grau de entalhamento variável, ora com vales estreitos e encostas abruptas, ora abertos com encostas suaves e fundos com amplas várzeas (figura 2).

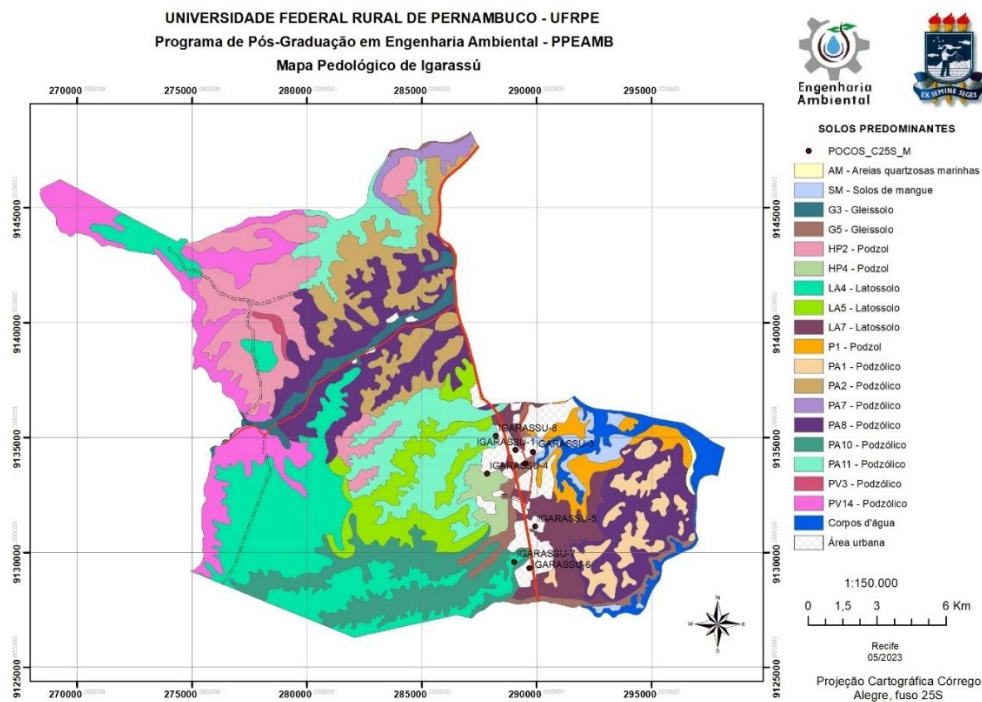
Figura 2: Mapa Fisiográfico de Igarassu



Fonte: Autoria própria

Seus solos profundos e de baixa fertilidade natural, são representados por Latossolos e Podzólicos nos topos residuais e das chapadas, por Podzólicos com Fregipan, Podzólicos Plínticos e Podzóis nas pequenas depressões nos tabuleiros; pelos Podzólicos Concrecionários em áreas dissecadas e encostas e Gleissolos e Solos Aluviais nas áreas de várzeas (CPRM, 2005), conforme pode ser observado na figura 3 e tabela 1.

Figura 3: Mapa Pedológico de Igarassu



Fonte: Autoria própria, 2022

Tabela 1: Descrição pedológica de Igarassu de acordo com a antiga classificação da EMBRAPA

SIGLA	DESCRIÇÃO
AM	Associação de AREIAS QUARTZOSAS MARINHAS + PODZOL HIDROMÓRFICO textura arenosa/arenosa e média, ambos ÁLICOS e DISTRÓFICOS A fraco e moderado campo e floresta perenifólia de restinga relevo plano (70-30 %).
SM	SOLOS DE MANGUE textura indiscriminada floresta perenifólia de mangue relevo plano.
G3	Associação de GLEISSOLO DISTRÓFICO + SOLOS ALUVIAIS DISTRÓFICOS e EUTRÓFICOS, ambos A moderado e proeminente textura argilosa e média floresta subperenifólia e campo de várzea relevo plano (65-35 %).
G5	Associação de GLEISSOLO DISTRÓFICO textura média e argilosa floresta subperenifólia de várzea e campo de várzea + PODZOL HIDROMÓRFICO ÁLICO e DISTRÓFICO textura arenosa/arenosa e média campo e floresta perenifólia de restinga, ambos A moderado relevo plano (50-50%).
HP2	Associação de PODZOL HIDROMÓRFICO + PODZOL, ambos ÁLICOS e DISTRÓFICOS com duripã A moderado textura arenosa/arenosa e média floresta subperenifólia e/ou cerrado subperenifólia relevo plano (65-35 %).
HP4	Associação de PODZOL HIDROMÓRFICO floresta subperenifólia e campo de restinga + PODZOL floresta subperenifólia e/ou cerrado subperenifólia, ambos ÁLICOS e DISTRÓFICOS com duripã A moderado textura arenosa/arenosa e média relevo plano + AREIAS QUARTZOSAS MARINHAS floresta subperenifólia e/ou cerrado subperenifólia relevo plano e suave ondulado (40-30-30 %).
LA4	Associação de LATOSSOLO AMARELO textura argilosa + PODZÓLICO AMARELO Latossólico e não Latossólico textura média/argilosa; todos ÁLICOS e DISTRÓFICOS A moderado e proeminente floresta subperenifólia relevo plano e suave ondulado (70-30 %).
LA5	Associação de LATOSSOLO AMARELO textura média e argilosa + PODZÓLICOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO Latossólicos e não Latossólicos com e sem fragipã textura média/argilosa, ambos A moderado e proeminente + PODZOL com e sem fragipã e/ou duripã A moderado textura arenosa/arenosa e média; todos ÁLICOS e DISTRÓFICOS floresta subperenifólia relevo plano e suave ondulado (45-30-25 %).
LA7	Associação de LATOSSOLO AMARELO textura média + PODZÓLICOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO Latossólicos e não Latossólicos com e sem fragipã textura média/média e argilosa, ambos A moderado e proeminente relevo suave ondulado e plano + PODZOL com e sem fragipã e/ou duripã A moderado textura arenosa/arenosa e média relevo plano e suave ondulado; todos ÁLICOS e DISTRÓFICOS floresta subperenifólia (50-30-20 %).
P1	Associação de PODZOL com duripã textura arenosa/arenosa e média floresta subperenifólia e/ou cerrado subperenifólia relevo plano + PODZÓLICO AMARELO Latossólico e não Latossólico com e sem fragipã textura arenosa e média/média e argilosa floresta subperenifólia relevo plano e suave ondulado, ambos ÁLICOS e DISTRÓFICOS A mod (60-40 %).
PA1	Associação de PODZÓLICO AMARELO Latossólico e não Latossólico com e sem fragipã A moderado e proeminente textura arenosa e média/média e argilosa + LATOSSOLO AMARELO textura média e argilosa A moderado; todos ÁLICOS e DISTRÓFICOS floresta subperenifólia relevo plano e suave ondulado (70-30 %).
PA2	Associação de PODZÓLICO AMARELO Latossólico e não Latossólico com e sem fragipã textura arenosa e média/média e argilosa floresta subperenifólia + PODZOL textura arenosa/arenosa e média floresta subperenifólia e/ou cerrado subperenifólia + LATOSSOLO AMARELO textura média e argilosa floresta subperenifólia; todos ÁLICOS e DISTRÓFICOS A moderado e proeminente relevo plano e suave ondulado (40-40-20 %).

PA7	Associação de PODZÓLICO AMARELO Latossólico e não Latossólico com e sem fragipã + PODZÓLICO AMARELO plínticos e não plínticos, ambos A moderado e proeminente textura média/média e argilosa floresta subperenifólia relevo suave ondulado e ondulado + PODZOL A moderado textura arenosa/arenosa e média floresta subperenifólia e/ou cerrado subperenifólia relevo plano a ondulado; todos ÁLICOS e DISTRÓFICOS (40-35-25 %).
PA8	Associação de PODZÓLICO AMARELO Latossólico e não Latossólico com e sem fragipã textura média/média e argilosa + PODZÓLICOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO de atividade baixa abrupto e não abrupto plínticos e não plínticos textura arenosa e média/média e argilosa; ambos ÁLICOS e DISTRÓFICOS A moderado e proeminente floresta subperenifólia relevo suave ondulado a forte ondulado (50-50 %).
PA10	Associação de PODZÓLICO AMARELO ÁLICOS e DISTRÓFICOS Latossólico e não Latossólico textura média/média e argilosa + PODZÓLICOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO de atividade baixa DISTRÓFICOS textura média/argilosa com e sem cascalho a cascalhento; ambos A moderado e proeminente floresta subperenifólia relevo ondulado e forte ondulado (50-50 %).
PA11	Associação de PODZÓLICO AMARELO com e sem fragipã + PODZÓLICOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO abrupto e não abrupto plíntico e não plíntico; ambos de atividade baixa relevo ondulado e forte ondulado + PODZÓLICO AMARELO Latossólico e não Latossólico relevo suave ondulado a forte ondulado; todos ÁLICOS e DISTRÓFICOS A moderado e proeminente textura média/média e argilosa floresta subperenifólia (40-40-20 %).
PV3	Associação de PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO profundo e pouco profundo textura média/argilosa + CAMBISSOLO pouco profundo textura argilosa com cascalho a cascalhento substrato gnaisse e granito, ambos de atividade baixa + SOLOS LITÓLICOS textura média e argilosa substrato gnaisse e granito; todos DISTRÓFICOS A moderado floresta subperenifólia relevo ond e forte ondulado (50-25-25 %).
PV14	PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO de atividade baixa DISTRÓFICO profundo e pouco profundo A moderado textura média/argilosa floresta subperenifólia e/ou subcaducifólia relevo ondulado e suave ondulado.

Fonte: Autoria própria, 2022

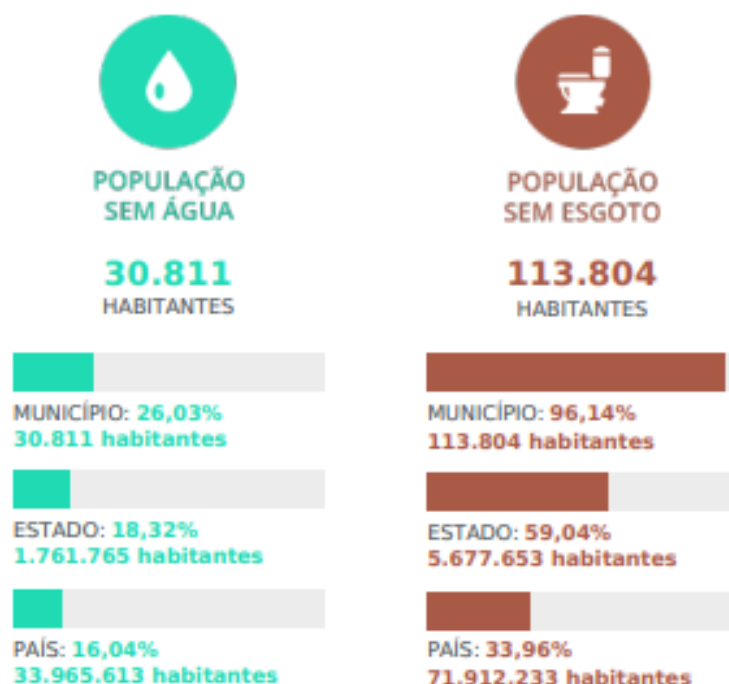
Destaca-se nesse contexto que na nova classificação de solos da EMBRAPA os solos podzólicos são classificados como argisolos (JACOMINE, 2009).

Ainda de acordo com o Diagnóstico do município de Igarassu (CPRM, 2005), o clima é do tipo Tropical Chuvoso com verão seco. O período chuvoso começa no outono tendo início em fevereiro e término em outubro. A precipitação média anual é de 1.634.2 mm, fatores de influenciam diretamente no tipo de vegetação que é predominantemente do tipo Floresta Subperenifólia, com partes de Floresta Subcaducifólia.

3.9 Saneamento Básico de Igarassu

De acordo com o Instituto Água e Saneamento (2020), até o ano de 2020 o saneamento básico de Igarassu destacava-se negativamente em relação ao acesso a água potável e ao tratamento de esgoto se comparado ao estado de Pernambuco e ao país, destacando-se como elementos nos quais interferem diretamente na forma como algumas comunidades buscam alternativas para a busca de água, e consecutivamente na sua qualidade, indicadores que podem ser observados e correlacionados a partir da figura 4.

Figura 4: Acesso a água potável e tratamento de esgoto em Igarassu em 2020



Fonte: Adaptado do Instituto água e saneamento (2023)

A figura informa que, em proporção, 26,03% da população do município, até o ano de 2020, não tinha acesso a água potável por parte da COMPESA, o que indica a carência de acesso a água tratada superior aos percentuais em Pernambuco e do Brasil acima do estado e do país.

No mesmo sentido outro aspecto observado é a porcentagem de pessoas com acesso ao tratamento de esgoto, porcentagem esta alarmante, onde chega a 96,14%, e também acima dos valores do estado e do país.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada no trabalho proposto consistiu basicamente na realização das seguintes etapas:

4.1 Levantamento bibliográfico

Esta etapa foi concretizada a partir de análises documentais em órgãos públicos como Secretaria de Meio Ambiente de Igarassu, Serviço Geológico do Brasil, Agência Estadual de Meio Ambiente, Companhia Pernambucana de Saneamento e em artigos, monografias,

dissertações e teses de universidades dentre outros.

O levantamento bibliográfico foi feito de maneira prévia buscando-se informações, dados e trabalhos de pesquisa que envolviam temáticas pertinentes para a contribuição da pesquisa em portais acadêmicos como: Portal da CAPES, Google Acadêmico, SciELO etc.

4.2 Identificação e caracterização dos poços rasos de captação de águas subterrâneas no município de Igarassu a serem analisados

Esta etapa caracterizou-se pela identificação dos poços a serem feitas as análises, onde se teve como parâmetro a sua profundidade de no máximo 30 (trinta) metros.

Outro aspecto a ser destacado nessa etapa de escolha foi a questão da representatividade de poços em relação aos bairros centrais do município, onde chegou-se ao número de 8 (oito) poços, com amostras cedidas sob anuência de seus proprietários, considerando uma unidade amostral nos respectivos bairros:

1. Bonfim 1;
2. Congrua;
3. Campina de Feira;
4. Encanto Igarassu;
5. Centro;
6. Beira Mar 1;
7. Cruz de Rebouças e
8. Agamenon Magalhães.

Utilizou-se como código para caracterização de cada poço a nomenclatura Poços ENCA, BEIR, CONG, CENT, CAMP, CRUZ, AGAM e BONF Com equivalentes em água bruta (natural do poço) e tratada após uso de clorador de pastilhas.

Em relação as caracterizações levantadas sobre os pontos de coletas destacam-se os dados expressos na tabela 2:

Tabela 2: Caracterização dos Poços em Igarassu

Nomeclatura	Nomeclatura (mapa)	Nomeclatura (água bruta/tratada)	Bairro	Profundidade (m)
ENCA	Igarassu – 5	AB1 - sem cloro; AT1 - com cloro	Encanto Igarassu	29
BEIR	Igarassu – 3	AB2 - sem cloro; AT2 - com cloro	Beira Mar 1	20
CONG	Igarassu – 8	AB3 - sem cloro; AT3 - com cloro	Congrua	20
CENT	Igarassu – 2	AB4 - sem cloro; AT4 - com cloro	Centro	12
CAMP	Igarassu – 1	AB5 - sem cloro; AT5 - com cloro	Campina de Feira	18
CRUZ	Igarassu – 6	AB6 - sem cloro; AT6 - com cloro	Cruz de Rebouças	15
AGAM	Igarassu – 4	AB7 - sem cloro; AT7 - com cloro	Agamenon Magalhães	13
BONF	Igarassu – 7	AB8 - sem cloro; AT8 - com cloro	Bonfim 1	25

Fonte: Autoria própria, 2022

Vale destacar que nenhum dos poços acima citados estão inseridos em uma área que tem cobertura de tratamento de esgoto, visto que apenas uma fração do bairro da Vila Saramandaia, situado próximo ao Centro do município de Igarassu, tem um sistema coletivo de tratamento, fator este que pode influenciar a qualidade das suas águas.

Outro aspecto a ser destacado é que nenhum dos poços estão inseridos em áreas próximas a cemitérios, indústrias, matadouros ou outras atividades econômicas potencialmente poluidoras de águas subterrâneas.

4.3 Coleta das amostras, bruta e tratada, para análises físico-químicas e microbiológicas

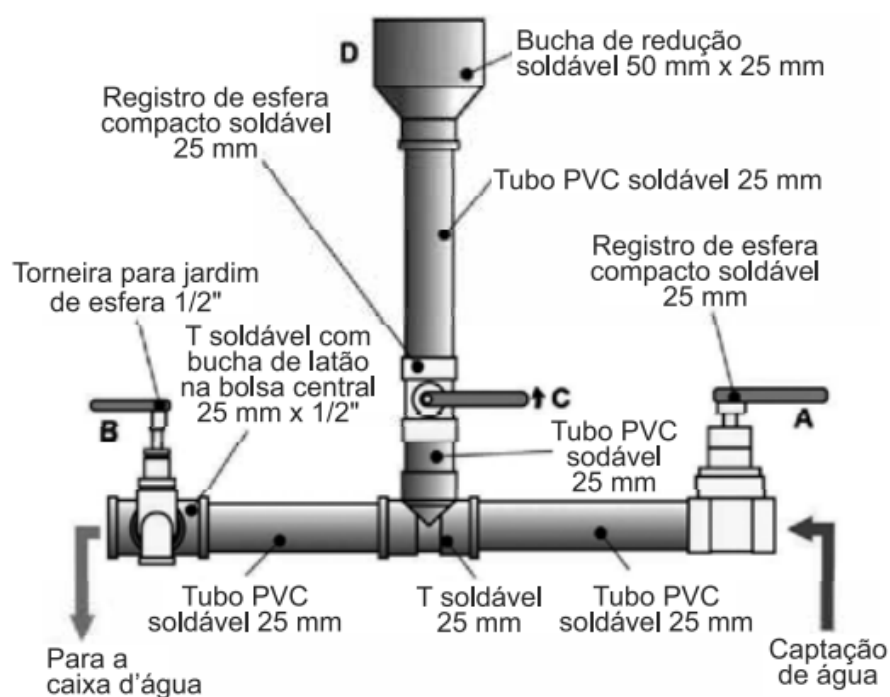
A composição amostral se deu pela coleta de água em recipientes de vidro estéreis por autoclave (121°C; 30'), com capacidade para um ou dois litros cada, no período de janeiro a maio de 2022, por duas vezes em cada poço, com intervalo de 60 dias entre as coletas, nas condições ambientais.

Realizadas no mesmo dia para cada mês e utilizando-se da técnica de análise em triplicata, totalizando 48 amostras, armazenadas e conservadas de acordo com a American Public Health Association (APHA, 2017).

4.3.1 Utilização do Clorador

O equipamento clorador utilizado foi o modelo indicado pela EMBRAPA na cartilha intitulada “ABC da agricultura familiar – Saneamento básico rural” publicada no ano de 2014, conforme mostra a figura 5.

Figura 5: Esquema de montagem do clorador



Fonte: EMBRAPA, 2014

O clorador indicado na cartilha é composto por materiais de comum localização sendo eles:

- 2 registros de esfera, 25 mm;
- 3 tubos de PVC soldável, 25 mm x 10 cm de comprimento;
- 1 tubo de PVC soldável, 25 mm x 5 cm de comprimento;
- 1 T de PVC soldável, 25 mm;
- 1 T soldável com bucha de latão na bolsa central, 25 mm x ½ polegada;
- 1 torneira de jardim, ½ polegada;
- 1 bucha de redução de PVC soldável, 50 mm x 25 mm;
- 1 cap de PVC soldável, 50 mm (opcional, como tampa do funil).

Vale destacar que houve três adaptações feitas que diferem-se da metodologia de

utilização indicada na cartilha, como pode ser observado na figura 6, sendo a primeira o tipo de cloro utilizado, que no caso foi uma pastilha de cloro, ao invés de cloro granular; a segunda foi a supressão do ponto que seria utilizado para direcionar a água para o reservatório, tornando este o local de captação direta da amostra através da torneira de jardim e a terceira e última foi a substituição do registro de esfera compacto soldável de 25 mm da tubulação vertical por um registro de pressão em PVC.

Com a finalização da instalação do clorador, em cada ponto de captação, foi introduzido no recipiente superior (bucha de redução soldável, 50 mm x 25 mm), a pastilha de cloro e na sequência houve a introdução de água destilada, esta tendo por objetivo dissolver parte do cloro. Esperou-se cerca de 1 min para que fosse aberto o registro de pressão em PVC, no qual permitiu que a água destilada descesse por gravidade até o “T” soldável de 25 mm.

Posteriormente abriu-se o registro de esfera compacto soldável de 25 mm existente no ponto de captação do poço, este com o intuito de fazer com que a água do poço entrasse em contato com a água que estava no “T” soldável de 25 mm. A partir deste procedimento foi coletado cerca de 1 a 2 litros, a depender do recipiente.

Vale destacar que a utilização do clorador ocorreu logo após a primeira coleta de cada poço, esta composta por água bruta, objetivando evitar-se qualquer tipo de influência externa que pudesse interferir nos resultados finais.

Outro aspecto levado em consideração, para evitar qualquer tipo de influência externa foi a utilização da água destilada como solvente, assim mantendo um padrão de água que levaria o cloro até a amostra de cada poço.

Vale salientar que a orientação dada pela cartilha da EMBRAPA é que o tempo de contato da água com o cloro seja ao menos de 30 min, fato este não adotado na metodologia, que atrelado ao tipo de cloro usado (pastilha) influenciou diretamente na dissolução do mesmo.

Destaca-se que a ideia de diminuir o tempo de contato entre a água e o cloro teve por objetivo dar maior dinâmica nas coletas das amostras, testando assim a hipótese de tratamento de água com clorador para a coleta direta das amostras.

Figura 6: Clorador confeccionado e utilizado na pesquisa



Fonte: Autoria própria, 2022

4.3.2 Técnica de análise microbiológica

Foi utilizada a técnica de tubos múltiplos constituída de duas etapas sucessivas, presuntiva e confirmativa, sendo que a etapa confirmativa depende do crescimento positivo na etapa anterior. Os parâmetros analisados foram: Coliformes totais, Coliformes Termotolerantes (*Escherichia coli*), bactérias heterotróficas, *Pseudomonas aeruginosa* e *Clostridium perfringens*.

O procedimento da etapa presuntiva consiste em realizar a homogeneização e transferência de alíquotas da amostra para tubos de ensaios contendo (no fundo) um tubo invertido (Durham) para coleta de gás, e meio de cultura apropriado, caldo lauril triptose, resultando em três séries de dez tubos contendo 10mL da amostra e 10mL do caldo. Os tubos foram incubados a 35°C por período de 24h a 48h, para posterior identificação aos que tiveram crescimento positivo para coliformes totais, dada pela ocorrência de reação ácida (cloração amarelada) ou produção de gás (tubo de Durham).

A etapa confirmativa consistiu no repique, transferência de alíquotas com alça de platina, dos tubos presuntivos positivos para tubos previamente preparados de acordo com a etapa anterior, mas com adição de caldo verde brilhante. Seguindo igualmente o procedimento anterior de incubação e identificação.

Acrescentou-se uma etapa complementar para identificação dos coliformes

termotolerantes, quando do repique de tubos presuntivos para tubos com meio EC (a recomendação é que seja realizado simultaneamente à etapa confirmativa), incubados a 44,5°C por 24h, com tempo mínimo total de 72h para obtenção de resultado favorável da presença destes coliformes. Em conformidade ao quantitativo de tubos positivos em cada diluição e etapas realizadas, pode-se determinar o Número Mais Provável (NMP).

Utilizou-se da estimativa do Número Mais Provável – NMP para subsidiar a análise após combinação dos números correspondentes, das amostras coletadas, dos tubos positivos (Tabela 3). Os parâmetros comparativos de NMP são previamente calculados através da equação:

$$\sum_{j=1}^k \frac{g_j m_j}{1 - \exp(-\lambda m_j)} = \sum_{j=1}^k t_j m_j$$

Onde,

$\exp(x) = e^x$,

K = número de diluições,

g_j = número de tubos positivos (ou de crescimento) na j^a diluição,

m_j = quantidade da amostra original colocada em cada tubo na j^a diluição,

t_j denota o número de tubos na j^a diluição.

Tabela 3: Número Mais Provável na utilização de tubos múltiplos

Número de tubos positivos	NMP/100ML	Intervalo de confiança (95%)	
		Mínimo	Máximo
0	<1,1	-	3,3
1	1,1	0,05	5,9
2	2,2	0,37	8,1
3	3,6	0,91	9,7
4	5,1	1,6	13
5	6,9	2,5	15
6	9,2	3,3	19
7	12	4,8	24
8	16	5,9	33
9	23	8,1	53
10	>23	12	-

Fonte: IN nº 30 de 2018 (MAPA)

Como procedimento para avaliação da densidade de bactérias heterotróficas, realizou-se a técnica de contagem de superfície, *spread plate*, de acordo com metodologia adotada pela APHA (2017). Consistiu na inoculação de 1mL de cada amostra em placa de petri, com auxílio de pipeta estéril, contendo meio de cultura *Plate Count Agar* (PCA) com 15ml a 20ml. A

contagem das placas se realizou após incubação de 24h, com o auxílio de uma lupa e posteriormente identificação das Unidades Formadoras de Colônias (UFC/mL), com uso da equação:

$$UFC/g \text{ ou } ml = \Sigma c / V \times 1,1 \times d$$

Onde,

V = Volume inoculado em cada placa,

d = Diluição retida para contagem.

Uma vez aplicada a equação tem-se os resultados convertendo-os em logaritmo, em que o valor máximo de UFC é 2,6576, considerando as recomendações do Ministério da Saúde em que a contagem de bactérias heterotróficas não ultrapasse o limite de 500 UFC/ml por amostras de água.

Para avaliar a presença ou ausência de *Pseudomonas aeruginosa* e *Clostridium perfringens*, foi utilizado um meio de cultura do tipo Agar em placas de petri, com 15ml a 20ml, e incubação de 1ml de cada amostra com auxílio de uma pipeta estéril, a 35°C por 48h. Estas placas foram acondicionadas em recipiente isento de oxigênio.

4.3.3 Análise estatística

Para a análise estatística foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA) de fator duplo com repetição, por ser uma técnica estatística que avalia a influência de dois fatores independentes (também chamados de variáveis independentes ou fatores de tratamento) em uma variável de resposta em um estudo experimental. A análise foi realizada com o suporte do programa SigmaSat 3.5®.

4.3.4 Técnica de análise físico-química

Para a avaliação da potabilidade da água, os resultados foram comparados aos parâmetros da Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 (BRASIL, 2021) e Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Os parâmetros analisados foram: PH, turbidez, cloreto e alcalinidade total.

Para o *pH* considerou-se como referência a recomendação de 6,0 a 9,5 mantidos no

sistema de distribuição. A turbidez é verificada com o resultado da filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta) considerando o padrão reduzido para 0,5UT e para verificação resultante da filtração lenta, reduzido para 1,0UT. Devido a coleta das amostras de água não passarem pelos processos de filtração, utilizou-se como indicativo turbidez alta ou baixa, referenciada pela valor máximo permitido de 5UT após desinfecção adotando como indicativo ausente ou presente.

Para verificação do uso e efetividade do clorador de pastilhas, as amostras foram coletadas na saída dos respectivos poços, no primeiro momento sem clorador e no segundo momento com clorador de pastilhas, que tiveram adicionados em seus tubos uma solução de 100 ml de tiosulfato de sódio.

4.3.5 Técnica análise fitoplâncton

As análises quantitativas do fitoplâncton foram determinadas pelo método de Utermöhl (1958), utilizando o microscópio invertido. A identificação do fitoplâncton foi realizada de acordo com a literatura, seguindo Prescott *et al.*, (1982) e Komárek e Cronberg (2001) para as cianobactérias, Krammer e Langer-Bertalot (1991) para as diatomáceas, Popovský e Pfiester (1990) para os dinoflagelados, e John *et al.*, (2002) para os demais fitoflagelados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Bactérias Heterotróficas

Em relação as bactérias heterotróficas, foram encontrados em alguns poços valores acima do permitido, pois a portaria de consolidação Nº 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), recomenda um Valor Máximo Permitido (VMP) de até 500 UFC/ml.

O valor máximo de UFC, após cálculos logarítmicos se torna 2,6576, conversão esta feita para facilitar a comparação, onde se pode constatar que o Poços ENCA, BEIR, CONG, CAMP, CRUZ, sem cloro e os Poços AGAN e BONF com e sem cloro apresentaram valores acima do recomendado, como pode ser observado na tabela 4.

Tabela 4: Resultados microbiológicos para Bactérias Heterotróficas

Poço	Am	Análises	Bactérias heterotróficas (UFC)		
			JAN	MAR	MAI
ENCA (s/cloro)	AB1	1	2,7099	2,8394	0,0000
	AB1	2	2,7091	2,8337	0,0000
	AB1	3	2,7076	2,8451	0,0000
ENCA (c/cloro)	AT1	1	1,7510	0,9586	0,0000
	AT1	2	1,7295	0,9586	0,0000
	AT1	3	1,7439	0,9586	0,0000
BEIR (s/cloro)	AB2	1	2,1405	1,4357	1,0414
	AB2	2	2,1347	1,2596	1,0414
	AB2	3	2,1376	1,2596	1,0414
BEIR (c/cloro)	AT2	1	0,0000	0,9586	0,0000
	AT2	2	0,0000	0,9586	0,0000
	AT2	3	0,0000	0,9586	0,0000
CONG (s/cloro)	AB3	1	2,9099	3,6645	1,7404
	AB3	2	2,9080	3,6636	1,7404
	AB3	3	2,9085	3,6576	1,7404
CONG (c/cloro)	AT3	1	0,2596	2,4638	1,3424
	AT3	2	0,2596	2,4500	1,3424
	AT3	3	0,2596	2,4210	1,3424
CENT (s/cloro)	AB4	1	2,5767	1,9128	1,8476
	AB4	2	2,5735	1,9128	1,8476
	AB4	3	2,5746	1,8617	1,8476
CENT (c/cloro)	AT4	1	2,5051	1,5607	0,8865
	AT4	2	2,5039	1,6576	0,8865
	AT4	3	2,5027	1,4357	0,8865
CAMP (s/cloro)	AB5	1	2,4849	3,4745	1,4886
	AB5	2	2,4784	3,4705	1,4886
	AB5	3	2,4837	3,4732	1,4886
CAMP (c/cloro)	AT5	1	1,3010	2,0378	0,0000
	AT5	2	1,2808	2,0000	0,0000
	AT5	3	1,2808	2,0378	0,0000
CRUZ (s/cloro)	AB6	1	2,4058	3,0658	1,4564
	AB6	2	2,4042	3,0555	1,4564
	AB6	3	2,3979	3,0624	1,4564
CRUZ (c/cloro)	AT6	1	1,6118	1,7368	1,5185
	AT6	2	1,6118	1,7368	1,5185
	AT6	3	1,5921	1,6576	1,5185
AGAM (s/cloro)	AB7	1	1,3010	3,8207	1,3636
	AB7	2	1,2808	3,8219	1,3636
	AB7	3	1,3203	3,8189	1,3636
AGAM(c/cloro)	AT7	1	0,8037	3,3370	1,6435
	AT7	2	0,7368	3,3203	1,6435
	AT7	3	0,8037	3,3388	1,6435
BONF (s/cloro)	AB8	1	1,1891	4,4771	1,7042
	AB8	2	1,1347	4,4775	1,7042
	AB8	3	1,1627	4,4774	1,7042
BONF (c/cloro)	AT8	1	0,2596	4,1777	0,0000
	AT8	2	0,2596	4,1761	0,0000
	AT8	3	0,2596	4,1774	0,0000

Obs. AB (água bruta); AT (água tratada).

Fonte: Autoria própria, 2022

Nesse contexto é importante salientar que a presença de bactérias heterotróficas em água subterrânea não é necessariamente um sinal de contaminação, uma vez que essas bactérias podem ser encontradas naturalmente no meio ambiente. No entanto, em alguns casos, a presença dessas bactérias pode indicar a contaminação da água por fontes externas de poluição, e a portaria de consolidação Nº 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (BRASIL,

2017) estipula o limite para a presença desse grupo de bactérias, fator este que funciona como fator de segurança para a saúde pública. Limite que é de 500 UFC/ml que convertido após cálculos logarítmicos tem como valor máximo 2,6576.

Outro ponto a ser destacado é que essas bactérias têm o poder de inibir a detecção dos coliformes, quando encontrados em quantidades muito elevadas na água (SILVEIRA DIB *et al.*, 2022). Logo, é importante e fundamental o monitoramento da quantidade de bactérias heterotróficas, visto que, a presença acima do limite desses microrganismos, estipulado na portaria, pode determinar o processo de deterioração da água, além de fornecer informações de produção de nutrientes que propiciam o crescimento de patógenos como *Pseudomonas aeruginosa*, além do crescimento bacteriano (BRUM *et al.*, 2016).

Vale destacar que dentro deste grupo de bactérias, há também as bactérias que habitam os intestinos de animais e seres humanos, sendo estas denominadas enterobactérias, a exemplo da *Escherichia coli* (BRASIL, 2007).

5.2 Coliformes totais e *Escherichia coli*

Em relação aos critérios da avaliação microbiológica e físico-química tem-se como referência os parâmetros de potabilidade da água com base na Portaria GM/MS Nº 888 de maio de 2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

Desta forma pode-se perceber que as amostras analisadas apresentaram quantidades de Coliformes totais e *Escherichia coli* fora dos limites estabelecidos pela portaria em epígrafe (Tabela 3). Portanto, a presença de Coliformes totais e *Escherichia coli* indicam presença de microrganismos patógenos entéricos e deteriorantes na água, pois são encontrados e em quantidades elevadas nas fezes dos animais e humanos (MACEDO *et al.*, 2021).

Nesse contexto destaca-se como exemplo da figura 7, para a fase presuntiva, e a figura 8, onde mostra tubos múltiplos com a confirmação da presença de *Escherichia coli* e Coliformes totais, respectivamente.

Figura 7: Tubos multiplos na fase presuntiva



Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 8: Tubos multiplos contendo *Escherichia coli* (bege) Coliformes totais (verde)



Fonte: Autoria própria, 2022

Atenta-se para o fato de que os coliformes totais isoladamente não caracterizam essencialmente problemas à saúde humana, ao contrário do que ocorre com os microrganismos patógenos. Assim há de se destacar que, se caso a presença de coliformes termotolerantes for elevada, é condição de alto risco para existência de outros agentes patógenos, onde nesta

pesquisa há números expressivos de coliformes e *Escherichia coli*, como pode ser observado na tabela a seguir.

Tabela 5: Resultados microbiológicos para Coliformes totais e *Escherichia coli* em água bruta e tratada

Poço	Am	Análises	Coliformes totais			<i>Escherichia coli</i>		
			JAN	MAR	MAI	JAN	MAR	MAI
ENCA (s/cloro)	AB1	1	9,2	<1,1	2,2	5,1	<1,1	<1,1
	AB1	2	6,9	<1,1	2,2	5,1	<1,1	<1,1
	AB1	3	9,2	<1,1	2,2	5,1	<1,1	<1,1
ENCA (c/cloro)	AT1	1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
	AT1	2	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
	AT1	3	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
BEIR (s/cloro)	AB2	1	5,1	2,2	2,2	5,1	2,2	<1,1
	AB2	2	5,1	2,2	2,2	5,1	2,2	<1,1
	AB2	3	5,1	2,2	2,2	5,1	2,2	<1,1
BEIR (c/cloro)	AT2	1	1,1	<1,1	<1,1	1,1	<1,1	<1,1
	AT2	2	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
	AT2	3	2,2	<1,1	<1,1	2,2	<1,1	<1,1
CONG (s/cloro)	AB3	1	1,1	16	5,1	2,2	2,2	1,1
	AB3	2	1,1	16	5,1	2,2	2,2	<1,1
	AB3	3	1,1	16	6,9	2,2	2,2	<1,1
CONG (c/cloro)	AT3	1	<1,1	9,2	3,6	<1,1	<1,1	<1,1
	AT3	2	<1,1	9,2	2,2	<1,1	<1,1	<1,1
	AT3	3	<1,1	12	3,6	<1,1	<1,1	<1,1
CENT (s/cloro)	AB4	1	12	2,2	12	12	1,1	1,1
	AB4	2	12	1,1	9,2	12	1,1	<1,1
	AB4	3	12	2,2	12	12	1,1	1,1
CENT (c/cloro)	AT4	1	5,1	1,1	9,2	3,6	<1,1	<1,1
	AT4	2	3,6	1,1	9,2	3,6	<1,1	<1,1
	AT4	3	5,1	1,1	9,2	2,2	<1,1	<1,1
CAMP (s/cloro)	AB5	1	2,2	6,9	1,1	<1,1	3,6	1,1
	AB5	2	1,1	6,9	1,1	<1,1	3,6	1,1
	AB5	3	2,2	9,2	1,1	<1,1	3,6	1,1
CAMP (c/cloro)	AT5	1	<1,1	5,1	1,1	<1,1	<1,1	<1,1
	AT5	2	<1,1	5,1	1,1	<1,1	<1,1	1,1
	AT5	3	<1,1	5,1	1,1	<1,1	<1,1	1,1
CRUZ (s/cloro)	AB6	1	1,1	2,2	2,2	1,1	<1,1	1,1
	AB6	2	1,1	1,1	2,2	1,1	<1,1	1,1
	AB6	3	<1,1	2,2	2,2	<1,1	<1,1	1,1
CRUZ (c/cloro)	AT6	1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
	AT6	2	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
	AT6	3	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
AGAM (s/cloro)	AB7	1	3,6	12	3,6	<1,1	<1,1	1,1
	AB7	2	3,6	2,2	3,6	<1,1	<1,1	1,1
	AB7	3	3,6	3,6	3,6	<1,1	<1,1	1,1
AGAM(c/cloro)	AT7	1	2,2	1,1	3,6	<1,1	<1,1	1,1
	AT7	2	2,2	1,1	3,6	<1,1	<1,1	1,1
	AT7	3	2,2	1,1	3,6	<1,1	<1,1	1,1
BONF (s/cloro)	AB8	1	12	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
	AB8	2	12	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
	AB8	3	12	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
BONF (c/cloro)	AT8	1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
	AT8	2	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
	AT8	3	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1

Obs. AB (água bruta); AT (água tratada).

Fonte: Autoria própria, 2022

Essa maior expressividade na presença de *Escherichia coli* é um fator preocupante, pois esse microorganismo é o principal agente de infecções entéricas, tendo como principais grupos de vulnerabilidade populacional, pessoas que não dispõem de sistema de saneamento, idosos e crianças imunocomprometidas (MACEDO *et al.*, 2017; Vieira *et al.*, 2004).

Podem ser destacadas diversas patologias, com suas respectivas gravidades para a saúde das populações, estas provenientes das diversas cepas de *Escherichia coli*, como: Infecções do trato urinário (ITU), Diarreia, Colite hemorrágica, Síndrome hemolítico-urêmica (SHU), Meningite neonatal (infecção em recém-nascidos), Infecções respiratórias e Infecções da corrente sanguínea (BONES, 2023).

Nesse contexto destaca-se os poços de nomeclatura ENCA, BEIR, CONG, CENT, CAMP, CRUZ e AGAM como poços nos quais foram constatados a presença *Escherichia coli*, tendo estas variações nos quantitativos em função dos períodos de coletas e análises. Outro aspecto a ser destacado, é que alguns dos poços, mesmo com a utilização do clorador, apresentaram concentrações do patógeno, indicando a não eficácia do mesmo, no tratamento com coleta direta das amostras.

Como exemplo pode ser destacado o Poço CENT, onde além da constatação da presença de *Escherichia coli* através do método dos tubos múltiplos (figura 9) podemos observar sua confirmação através da Placa de Petri (figura 10).

Figura 9: Tubos múltiplos do poço CENT contendo *Escherichia coli*



Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 10: Placa de Petri do poço CENT contendo *Escherichia coli*



Fonte: Autoria própria, 2022

Diante do exposto é notório o processo de contaminação fecal nas amostras supracitadas, comprovando através de dois métodos distintos, tubos múltiplos e plaqueamento, apresentando resultados positivos para *Escherichia coli* em 18 (dezoito) amostras, resultados apresentados em períodos distintos que podem ser observados no quadro anterior.

Essa confirmação da contaminação fecal nas amostras demonstram a importância do monitoramento da qualidade da água em poços rasos, além da implementação de medidas de controle de qualidade dessas águas para prevenir a transmissão de doenças transmitidas por águas contaminadas, onde enfatiza-se a necessidade de informar à população sobre os riscos das águas contaminadas (CAVALCANTE, 2014).

5.3 *Pseudomonas aeruginosa* e *Clostridium perfringens*

Observa-se na Tabela 6 que a presença de *Pseudomonas aeruginosa* se deu em 4,17% do conjunto amostral analisado, presença confirmada nas amostras coletadas sem cloro dos Poços ENCA e CENT. Já a presença de *Clostridium perfringens* se deu em 12,5% do conjunto amostral, presença confirmada em quatro amostras coletadas sem cloro (Poços CONG, CENT, CAMP e AGAM) e duas com cloro (Poços CAMP e AGAM).

A ocorrência das bactérias *Pseudomonas aeruginosa* e *Clostridium perfringens*

evidencia que não houve eficácia da utilização do clorador na desinfecção destes microrganismos.

Tabela 6: Resultados microbiológicos para *Pseudomonas aeruginosa* e *Clostridium perfringens*

Poço	Am	Análises	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> .			<i>Clostridium perfringens</i>		
			JAN	MAR	MAI	JAN	MAR	MAI
ENCA (s/cloro)	AB1	1	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.	AUS.	AUS.
	AB1	2	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.	AUS.	AUS.
	AB1	3	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.	AUS.	AUS.
ENCA (c/cloro)	AT1	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AT1	2	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AT1	3	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
BEIR (s/cloro)	AB2	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AB2	2	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AB2	3	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
BEIR (c/cloro)	AT2	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AT2	2	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AT2	3	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
CONG (s/cloro)	AB3	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.
	AB3	2	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.
	AB3	3	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.
CONG (c/cloro)	AT3	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AT3	2	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AT3	3	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
CENT (s/cloro)	AB4	1	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.	AUS.	PRES.
	AB4	2	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.	AUS.	PRES.
	AB4	3	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.	AUS.	PRES.
CENT (c/cloro)	AT4	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AT4	2	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AT4	3	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
CAMP (s/cloro)	AB5	1	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.	AUS.
	AB5	2	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.	AUS.
	AB5	3	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.	AUS.
CAMP (c/cloro)	AT5	1	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.	AUS.
	AT5	2	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.	AUS.
	AT5	3	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.	AUS.
CRUZ (s/cloro)	AB6	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AB6	2	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AB6	3	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
CRUZ (c/cloro)	AT6	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AT6	2	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AT6	3	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
AGAM (s/cloro)	AB7	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.
	AB7	2	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.
	AB7	3	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.
AGAM(c/cloro)	AT7	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.
	AT7	2	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.
	AT7	3	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	PRES.	AUS.
BONF (s/cloro)	AB8	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AB8	2	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AB8	3	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
BONF (c/cloro)	AT8	1	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AT8	2	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.
	AT8	3	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.	AUS.

Obs. AB (água bruta); AT (água tratada).

Fonte: Autoria própria, 2022

Com esse cenário apresentado, com poços contaminados com *Pseudomonas aeruginosa* e *Clostridium perfringens*, fica evidente que os mesmos apresentam situação grave, pois ambos são microorganismos causadores de doenças.

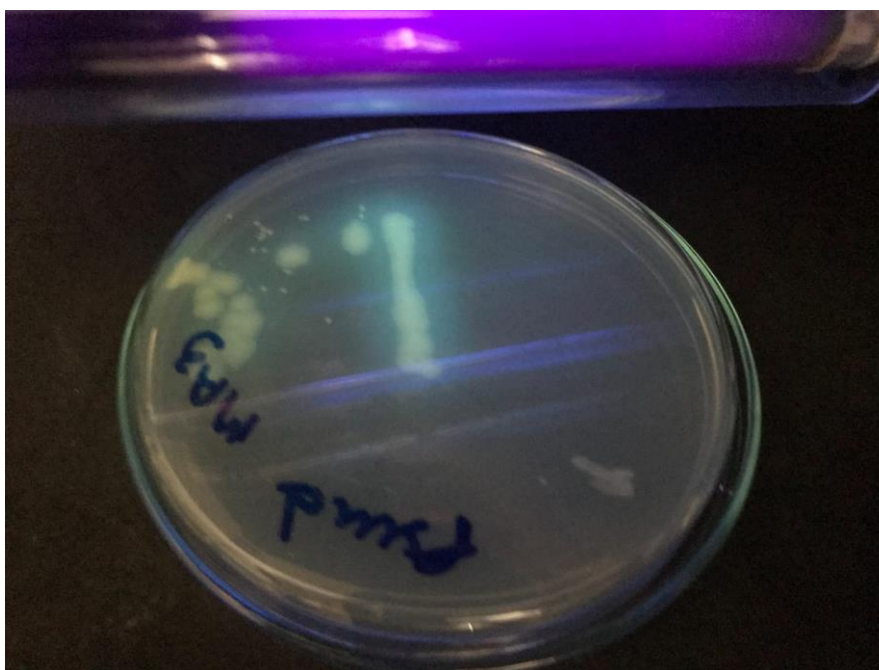
No caso das *Pseudomonas aeruginosa*, a exemplo da figura 11, como são consideradas patógenos oportunistas, os mesmos são causadores de infecções em indivíduos imunocomprometidos, recém-nascidos além de idosos (DOMINGUES *et al.*, 2007; IWERSEN *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2022).

É importante destacar que a *Pseudomonas aeruginosa* pode ser associada a diversas patologias como o exemplo das infecções do trato urinário, pneumonias, infecções cutâneas, infecções oculares, infecções de ouvido, osteomielite, endocardite, bacteremia e sepse, entre outras (BROOKS *et al.*, 2014).

Nesse contexto ressalta-se que a água é um veiculador desse patógeno e isso se caracteriza em função da predominância da sua existência em água fresca, podendo sobreviver diversos meses em temperatura ambiente (WHO, 2003; VASCONCELOS, 2005; TOBÓN *et al.*, 2017).

Outro aspecto interessante é que a grande concentração deste patógeno na água pode gerar falsos negativos nos resultados das análises coliméricas, tendo sua análise um papel fundamental como indicador desse risco (VASCONCELOS, 2005).

Figura 11: Placa de Petri do poço CENT contendo *Pseudomonas aeruginosa*



Fonte: Autoria própria, 2022

A presença de *Clostridium perfringens*, a exemplo da figura 12, pode gerar doenças em três formas distintas como as toxinfecções alimentares, esterites necróticas e gangrenas gasosas, tendo apenas as duas primeiras relação com o consumo de água e alimentos contaminados (SOUZA, 2017).

Esta bactéria é considerada saprófita, ou seja, ela obtém seus nutrientes e energia por meio da decomposição de matéria orgânica morta o que implica em possíveis problemas de qualidade da água e riscos para a saúde pública. Vale destacar que o seu crescimento se dá através de Biofilmes, que é um padrão de crescimento onde a bactéria cresce em comunidades complexas, comunicando-se entre si, aderem a superfícies e se envolvem em uma matriz de polissacarídeos, proteínas e material extracelular. Esses biofilmes fornecem proteção às bactérias contra fatores ambientais adversos, como antibióticos, e permitem a formação de colônias mais estáveis (BROOKS *et al.*, 2014).

Figura 12: Placa de Petri do poço CAMP com *Clostridium perfringens*



Fonte: Autoria própria, 2022

5.4 Análise estatística

A análise estatística se deu com Análise de Variância – ANOVA de fator duplo com repetição, refere-se ao valor estatístico de “F”, neste método pretende-se encontrar diferenças estatísticas significativas entre as amostras estudadas (Tabela 4). O teste estatístico foi realizado para o conjunto amostral de coleta sem cloro, e coleta com cloro (Tabela 7).

Tabela 7: Análise de variância em amostras coletadas sem cloro

Total							
Contagem	48		48		48		
Soma	81,6956		128,2241		52,4685		
Média	1,701992		2,671335		1,093094		
Variância	0,895297		1,26303		0,461244		
ANOVA							
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>Gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	
Amostra	20,86678	1	20,86678	28,65956	3,51E-07	3,909729	
Colunas	60,81969	2	30,40985	41,76653	6,55E-15	3,061716	
Interações	1,776488	2	0,888244	1,219962	0,298405	3,061716	
Dentro	100,4766	138	0,728091				
Total	183,9396	143					

Fonte: Autoria própria, 2022

Considerou-se os oito poços com os valores registrados em cada coleta e sua relação com a réplica em cada momento de coleta, ou seja, nos meses de janeiro, março e maio. Adotou-se o valor $P = 0,05$ como probabilidade ao nível de confiança de 95%.

Com os resultados tem-se os valores totais das médias e variâncias do total da amostra. A relação entre as amostras demonstra que há diferença estatística significativa, uma vez que o valor de $P = 3,51E-07$ é bem menor que o valor adotado de $P = 0,05$, constatação reforçada ao tomar-se os valores de F crítico = 3,90 e F calculado = 28,65, ou seja, F calculado é bem maior que o F crítico. Ocorrendo a mesma situação ao analisar-se a relação entre os momentos de coletas.

Ao analisar a interação entre as coletas com e sem cloro e os momentos, observa-se que não há diferença estatística significativa, uma vez que o $P = 0,29$ é maior que $P = 0,05$ adotado, resultado ratificado com o valor de F calculado = 1,21, menor que o valor de F crítico = 3,06. Portanto, a utilização de clorador na coleta amostral não interfere nos resultados obtidos, ou seja, a estatística mostra a ineficiência da utilização do clorador na descontaminação em coleta direta dessas amostras, fato este ocasionado em função do curto tempo de contato entre a água das amostras e o cloro.

Este fator é perceptível em função da constatação da presença bacteriológica após o uso do clorador, podendo ser exemplificado através dos resultados apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6, supracitados, onde os mesmos mostram a correlação entre as bactérias e a água, sem e com o uso do clorador.

Essa paridade nos resultados da análise da água sem e com cloro é o que corrobora para que não haja diferença estatística significativa. Nesse contexto a análise físico-química, mais

especificamente a análise de Cloreto– mg/L Cl das amostras, mostrou-se de grande relevância para se entender ainda mais os resultados adquiridos.

5.5 Análises físico-químicas

Quanto aos aspectos físico-químico utilizou-se dos parâmetros regidos pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021). Recomenda-se que o pH da água deve-se manter no intervalo de 6,0 a 9,5, diretamente no sistema de distribuição.

Nesse contexto pode ser observado a variabilidade de pH entre os diferentes poços e nos diferentes períodos, estando apenas as amostras: CENT (sem cloro) nos meses de Março e Maio, nas três repetições e Janeiro em apenas uma das repetições; CENT (com cloro) nos meses de Março e Maio nas três repetições; AGAM (sem cloro) no mês de Maio nas três repetições e AGAM (com cloro) no mês de Maio nas três repetições, dentro do intervalo permitido na portaria, podendo ser observado na Tabela 8.

Esta constatação indica que todas as outras amostras estão ácidas, fator este que pode causar problemas de saúde a quem as consome, como: erosão nos dentes e no esôfago, desconforto no estômago e azia. Ainda nesse contexto foi observado que nenhuma das amostras ficaram acima do intervalo estipulado na Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021).

Em respeito ao aspecto turbidez, é recomendado que seja avaliada quando de sua coleta amostral sob duas formas, a primeira realizando a filtração rápida, conhecido por tratamento completo ou filtração direta, a segunda realizando a filtração lenta.

O parâmetro referencial desta pesquisa foi de 5 UT, devido ao fato da coleta não ter tido processo de filtração, processo descrito no parâmetro da portaria pós filtração, logo os Poços BEIR, CAMP, CRUZ e AGAM destacam-se por terem valores acima do parâmetro, esse fato pode ser correlacionado ao tipo do material de composição do solo ao qual o aquífero está inserido, somado a uma maior precipitação no período das coletas.

A maior turbidez destas amostras supracitadas pode gerar efeitos nocivos a saúde humana dependendo da natureza e da quantidade das partículas presentes na água. Essas partículas em suspensão podem representar um risco para a saúde pois a ingestão de água com altos níveis de turbidez pode causar problemas gastrointestinais, como diarreia, náusea e vômito, além de outras doenças relacionadas à qualidade da água. Além disso, a presença de partículas pode interferir na eficácia do tratamento da água e favorecer a proliferação de

microrganismos, aumentando o risco de doenças transmitidas pela água, como a cólera, a giardíase e a hepatite A (PRADO *et al.*, 2017).

Nesse contexto ainda vale destacar que os Poços CAMP, CRUZ e AGAM tiveram uma redução drástica em relação a turbidez, quando comparamos o mês de janeiro com os meses de março e maio, diminuição esta que pode ter relação com a menor atividade (utilização) dos poços nos respectivos meses de menor turbidez. Vale salientar que a utilização das bombas de sucção propiciam a agitação das suas respectivas águas, que por sua vez tende a ficar mais turva a medida que a mesma entra em contato com as faces do poço

Tabela 8: Resultados físico-químicos (ph e Turbidez)

Poço		Am	Análises	Ph			Turbidez (UT)		
				JAN	MAR	MAI	JAN	MAR	MAI
ENCA (s/cloro)		AB1	1	3,72	4,06	4,17	2,31	1,97	1,9
		AB1	2	3,65	4,07	4,1	2,39	2,22	1,85
		AB1	3	3,66	4,08	4,08	2,38	2,1	1,86
ENCA (c/cloro)		AT1	1	3,76	4,12	4,17	3,97	1,99	1,35
		AT1	2	3,76	4,1	4,07	3,83	1,92	1,32
		AT1	3	3,75	4,1	4,05	3,89	1,9	1,27
BEIR (s/cloro)		AB2	1	4,35	3,8	3,92	1,92	5,49	1,95
		AB2	2	4,31	3,65	3,94	1,94	5,74	1,93
		AB2	3	4,31	3,64	3,95	1,93	5,27	1,94
BEIR (c/cloro)		AT2	1	4,25	3,15	3,81	2,07	6	2,46
		AT2	2	4,29	3,13	3,83	2,11	6,08	2,42
		AT2	3	4,29	3,13	3,83	2,14	6,06	2,49
CONG (s/cloro)		AB3	1	3,78	4,65	5	2,32	2,95	3,81
		AB3	2	3,7	4,61	4,91	2,27	3,02	3,8
		AB3	3	3,69	4,61	4,89	2,26	2,96	3,82
CONG (c/cloro)		AT3	1	3,8	4,67	4,94	1,92	2,93	4,73
		AT3	2	3,73	4,66	4,78	1,9	2,9	4,7
		AT3	3	3,7	4,65	4,76	1,87	3,07	4,57
CENT (s/cloro)		AB4	1	5,86	6,61	6,06	1,42	2,13	2,22
		AB4	2	6,05	6,67	6,09	1,44	2,25	2,37
		AB4	3	5,99	6,66	6,13	1,47	2,24	2,37
CENT (c/cloro)		AT4	1	5,83	6,87	6,31	1,9	1,37	2,18
		AT4	2	5,85	6,81	6,31	1,85	1,36	2,23
		AT4	3	5,86	6,91	6,3	1,85	1,3	2,15
CAMP (s/cloro)		AB5	1	4,75	4,89	5,16	23,3	7,43	6,08
		AB5	2	4,66	4,88	5,07	23,2	7,6	5,79
		AB5	3	4,63	4,87	5,09	23,3	7,28	6,22
CAMP (c/cloro)		AT5	1	4,82	4,75	5,31	27,8	9,48	9,55
		AT5	2	4,67	4,69	5,26	27,6	9,99	8,41
		AT5	3	4,65	4,69	5,26	27,5	9,31	8,27
CRUZ (s/cloro)		AB6	1	3,56	3,75	3,75	14,6	10,9	3,33
		AB6	2	3,55	3,73	3,63	14,7	10,8	3,25
		AB6	3	3,52	3,72	3,64	14,6	10,7	3,28
CRUZ (c/cloro)		AT6	1	3,63	3,78	3,54	11,9	7,81	3,45
		AT6	2	3,57	3,78	3,61	11,6	7,86	3,43
		AT6	3	3,56	3,78	3,61	11,6	7,97	3,42
AGAM (s/cloro)		AB7	1	4,66	5,08	6,48	41,9	9,95	3,55
		AB7	2	4,62	5,03	6,55	45,6	9,65	3,36
		AB7	3	4,62	5,09	6,59	44,3	9,57	3,27
AGAM(c/cloro)		AT7	1	4,77	5,44	6,65	33,5	6,5	2,64
		AT7	2	4,63	5,5	6,65	33,1	6,29	2,6
		AT7	3	4,63	5,44	6,65	33,8	6,13	2,64
BONF (s/cloro)		AB8	1	4,17	4,89	4,68	1,9	3,8	3,36
		AB8	2	4,16	4,85	4,67	1,86	3,58	2,68

		AB8	3	4,16	4,86	4,65	1,9	3,62	2,66
BONF (c/cloro)		AT8	1	4,17	5,03	4,52	2,23	4,37	2,54
		AT8	2	4,08	4,95	4,55	2,11	4,37	2,76
		AT8	3	4,03	4,95	4,58	2,08	4,83	2,49

Obs. AB (água bruta); AT (água tratada).

Fonte: Autoria própria, 2022

Em relação a quantidade de cloretos o padrão de referência estipulado na portaria é de no máximo o Valor Médio Padrão (VPM) de 250 mg/L, logo pode ser observado na Tabela 9 que os valores encontrados nos meses das coletas estão abaixo do limite máximo estipulado, porém pode ser observado que as amostras, as quais passaram pelo clorador, não tiveram ganhos significativos de cloreto, o que significa que não houve eficiência necessária para a desinfecção, fator este que corrobora para que não haja diferença estatística significativa.

Já alcalinidade permitida como atributo de potabilidade é de no máximo 100 mg/L o implica em dizer que o Poço AGAM, na coleta no mês de maio esteve acima do limite permitido, assim como o Poço CENT, sem cloro, podendo ser observado na Tabela 9.

Tabela 9: Resultados físico-químico (Cloreto – mg/Lcl e Alcalinidade total – mg/L CaCO₃)

Poço	Am	Análises	Cloreto (mg/L cl)			Alcalinidade total (mg/L CaCO ₃)		
			JAN	MAR	MAI	JAN	MAR	MAI
ENCA (s/cloro)	AB1	1	0,036	0,047	0,010	4	0	0
	AB1	2	0,036	0,047	0,008	4	0	0
	AB1	3	0,035	0,049	0,010	4	0	0
ENCA (c/cloro)	AT1	1	0,037	0,055	0,012	4	0	0
	AT1	2	0,037	0,057	0,012	4	0	0
	AT1	3	0,037	0,059	0,012	4	0	0
BEIR (s/cloro)	AB2	1	0,070	0,153	0,059	8	0	0
	AB2	2	0,070	0,155	0,065	10	0	0
	AB2	3	0,070	0,153	0,067	8	0	0
BEIR (c/cloro)	AT2	1	0,076	0,205	0,068	8	0	0
	AT2	2	0,076	0,204	0,068	8	0	0
	AT2	3	0,075	0,205	0,068	8	0	0
CONG (s/cloro)	AB3	1	0,055	0,061	0,014	0	4	20
	AB3	2	0,053	0,057	0,012	0	4	16
	AB3	3	0,053	0,057	0,020	0	4	12
CONG (c/cloro)	AT3	1	0,059	0,068	0,016	0	4	8
	AT3	2	0,059	0,068	0,016	0	4	12
	AT3	3	0,059	0,065	0,020	0	4	12
CENT (s/cloro)	AB4	1	0,059	0,121	0,033	62	80	104
	AB4	2	0,060	0,119	0,033	62	76	104
	AB4	3	0,060	0,121	0,033	62	72	100
CENT (c/cloro)	AT4	1	0,063	0,133	0,035	62	72	88
	AT4	2	0,063	0,131	0,037	62	76	80
	AT4	3	0,063	0,133	0,039	64	76	80
CAMP (s/cloro)	AB5	1	0,025	0,092	0,047	8	12	16
	AB5	2	0,023	0,092	0,047	8	16	16
	AB5	3	0,025	0,094	0,047	8	12	20
CAMP (c/cloro)	AT5	1	0,039	0,102	0,047	12	4	16
	AT5	2	0,043	0,100	0,047	12	4	20
	AT5	3	0,043	0,102	0,047	8	4	16
CRUZ (s/cloro)	AB6	1	0,055	0,133	0,061	0	0	0
	AB6	2	0,051	0,131	0,057	0	0	0
	AB6	3	0,051	0,135	0,059	0	0	0

CRUZ (c/cloro)	AT6	1	0,059	0,141	0,068	0	0	24
	AT6	2	0,057	0,143	0,068	0	0	20
	AT6	3	0,055	0,141	0,068	0	0	16
AGAM (s/cloro)	AB7	1	0,020	0,108	0,051	12	8	132
	AB7	2	0,020	0,108	0,049	12	8	136
	AB7	3	0,022	0,110	0,049	12	8	132
AGAM(c/cloro)	AT7	1	0,031	0,102	0,047	12	12	136
	AT7	2	0,025	0,102	0,049	12	12	132
	AT7	3	0,031	0,102	0,049	12	12	136
BONF (s/cloro)	AB8	1	0,076	0,170	0,074	8	8	16
	AB8	2	0,072	0,170	0,070	8	8	16
	AB8	3	0,074	0,172	0,072	8	8	16
BONF (c/cloro)	AT8	1	0,082	0,180	0,072	8	8	16
	AT8	2	0,080	0,172	0,074	8	8	16
	AT8	3	0,078	0,180	0,072	8	8	16

Obs. AB (água bruta); AT (água tratada).

Fonte: Autoria própria, 2022

5.6 Resultados Fitoplâncton

Os microrganismos fotossintetizantes encontrados nas amostras são de 4 (quatro) gêneros: *Cyclotella*, *Nitzschia*, *Flagillaria* e *Clorella* (Tabela 10). O aparecimento destes fitoplânctons nas amostras coletadas, pode indicar que o ambiente, que por mais que não tenha contato luminoso, pode ter sofrido alguma interferência externa que deu condições de vida para estes seres aquáticos.

Tabela 10: Resultados Fitoplâncton para presença de *Cyclotella meniguiniana*, *Nitzschia*, *Flagillaria* e *Clorella*

Am	Organismo			Quantidade			Total de Organismos			Densidade		
	JAN	MAR	MAI	JAN	MAR	MAI	JAN	MAR	MAI	JAN	MAR	MAI
ENCA (s/cloro)	<i>Cy.me</i>	AUS.	AUS.	1	0	0	60	0	0	4275	0	0
ENCA (c/cloro)	AUS.	AUS.	AUS.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BEIR (s/cloro)	<i>Cy.me</i>	AUS.	AUS.	1	0	0	20	0	0	1425	0	0
	<i>Nitz</i>			1			2			142,5		
BEIR (c/cloro)	<i>Cy.me</i>	AUS.	AUS.	1	0	0	18	0	0	1282,5	0	0
	<i>Nitz</i>			1			2			142,5		
CONG (s/cloro)	<i>Cy.me</i>	AUS.	AUS.	1	0	0	3	0	0	213,75	0	0
	<i>Flag</i>			1			1			71,25		
CONG (c/cloro)	AUS.	AUS.	AUS.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CENT (s/cloro)	<i>Cy.me</i>	<i>Clor</i>	<i>Clor</i>	1	1	1	4	2	2	285	142,5	142,5
CENT (c/cloro)	AUS.	<i>Clor</i>	AUS.	0	1	0	0	2	0	0	142,5	0
CAMP (s/cloro)	<i>Cy.me</i>	<i>Cy.me</i>	<i>Cy.me</i>	1	1	1	3	1	1	213,75	71,25	71,25
	<i>Clor</i>		<i>Clor</i>	1		1	5		3	356,25		213,75
CAMP (c/cloro)	<i>Cy.me</i>	<i>Clor</i>	<i>Clor</i>	1	1	1	20	3	3	1425	213,75	213,75
	<i>Flag</i>			2			2			285		
CRUZ (s/cloro)	<i>Cy.me</i>	<i>Cy.me</i>	<i>Cy.me</i>	1	1	1	3	1	1	213,75	71,25	71,25
	<i>Flag</i>			1			1			71,25		
CRUZ (c/cloro)	<i>Cy.me</i>	<i>Cy.me</i>	<i>Cy.me</i>	1	1	1	1	1	1	71,25	71,25	71,25
	<i>Flag</i>			1			2			142,5		
	<i>Clor</i>			1			1			71,25		
AGAM (s/cloro)	<i>Cy.me</i>	AUS.	AUS.	1	0	0	60	0	0	4275	0	0
AGAM (c/cloro)	<i>Clor</i>	AUS.	AUS.	1	0	0	3	0	0	213,75	0	0
BONF (s/cloro)	<i>Cy.me</i>	AUS.	AUS.	1	0	0	1	0	0	71,25	0	0
BONF (c/cloro)	<i>Cy.me</i>	AUS.	AUS.	1	0	0	1	0	0	71,25	0	0

Obs.: *Cy. me.* = *Cyclotella meniguiniana*; *Nitz.* = *Nitzschia*; *Flag* = *Flagillaria*; *Clor* = *Clorella*

Fonte: Autoria própria, 2022

Contudo, há de se destacar que a presença dos 4 (quatro) gêneros citados acima, em baixa concentração, pode indicar que o ambiente não está eutrofizado, ou seja, as baixas concentrações pressupõem o equilíbrio ambiental, tendo como fator que corrobora com essa ideia a premissa da ausência de espécies dos grupos Chlorophyceae, Cyanobacteria, Euglenophyceae, Bacillariophyceae e Dianophyceae, pois são indicadores de poluição dos corpos d'água (SILVA, 2020).

5.7 Precipitação no período das coletas das amostras

O acumulado das chuvas nos meses aos quais exerceram influência nos resultados, mostra a possibilidade de diminuição da concentração de microrganismos, podendo ter ocorrido devido a maior vazão dos poços, no qual diminuiu a concentração dos mesmos, por outro lado o aumento da concentração também pode ter relação com o aumento da vazão, possibilidade esta, que pode ter ocorrido devido o maior carreamento de matéria orgânica, advinda de esgotos, trazendo assim melhores condições para o crescimento de microorganismos (Tabela 11).

Tabela 11: Acumulado de precipitação em mm de Dezembro de 2021 à Maio de 2022

MÊS	CHUVA ACUMULADA (MM)	ANO
DEZ	65	2021
JAN	244,4	2022
FEV	44,6	2022
MAR	353,3	2022
ABR	183,8	2022
MAI	633,4	2022

Fonte: Adaptado da Apac, 2022 (<https://www.apac.pe.gov.br/boletins>)

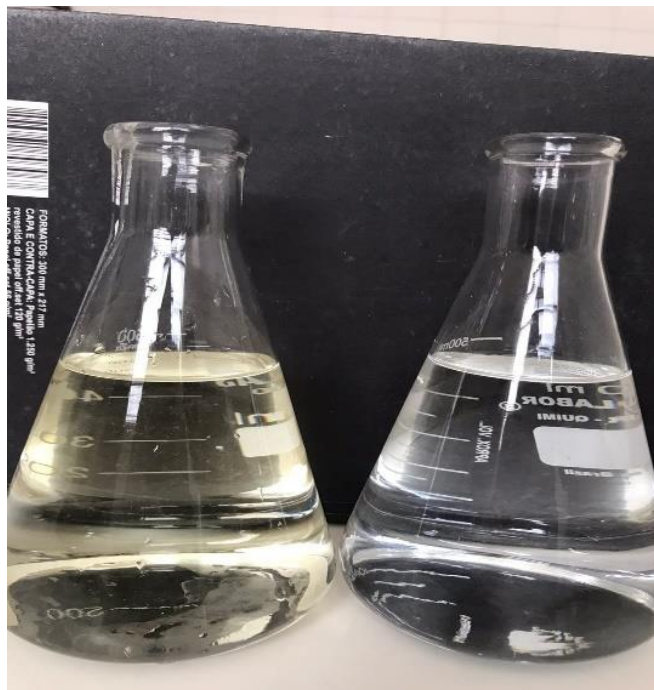
Como não se pode ter uma certeza do aumento ou diminuição das concentrações de microrganismos em função do aumento da vazão dos poços, apenas se pode afirmar a correlação direta no aumento da vazão em relação ao aumento de um aspecto físico-químico analisado em laboratório, que é a turbidez das águas coletadas nos diferentes períodos.

5.8 Coloração das amostras

Um aspecto interessante observado nas amostras foi em relação as suas colorações, onde destacou-se a coloração das amostras de água do Poço CENT, localizado no bairro central do

município. Estas amostras apresentaram sua coloração ligeiramente amarelada, podendo ser comparada a coloração do Poço BONF, localizado no bairro do Bonfim 1, este não apresentando cor aparente, podendo ser observado na figura 13.

Figura 13: Coloração dos Poços CENT e BONF



Fonte: Autoria própria, 2022

Apesar de ser uma análise físico-química que não foi empregada neste trabalho, de acordo com a metodologia oficial, a simples observação da coloração da água do Poço CENT sugere que a mesma pode ter a presença de substâncias húmicas, taninos e também por metais como ferro e manganês e resíduos industriais fortemente coloridos (FUNASA, 2013).

Nesse contexto, como as amostras do Poço CENT, apresentaram patógenos, o mais provável é que a coloração ligeiramente amarelada se deu em função de processos leves de degradação química e biológica de resíduos de plantas, animais e atividades microbiana, o que se contrapõe as amostras do Poço BONF.

6 CONCLUSÃO

A análise do estado microbiológico dos aquíferos é de fundamental importância por várias razões incluindo a segurança da água onde a presença de microrganismos patogênicos em um aquífero pode representar um risco para a saúde pública, especialmente se a água do aquífero é utilizada como fonte de água potável. Esse tipo de análise pode identificar a presença

de microrganismos patogênicos, permitindo que sejam tomadas medidas de tratamento e/ou prevenção para garantir que a água seja segura para consumo humano.

Ainda nesse contexto fica claro que a análise microbiológica dos aquíferos está diretamente relacionada a três aspectos fundamentais: o monitoramento ambiental que é usado para acompanhar o impacto das atividades humanas, na qualidade das águas subterrâneas; a investigação de surtos de doenças, onde ajuda a identificar as fontes da contaminação e por último no contexto dos estudos ecológicos onde pode ser usada para entender melhor a diversidade e a ecologia dos microrganismos em ambientes subterrâneos, ajudando a fornecer informações sobre a distribuição geográfica e a evolução dos microrganismos em ambientes subterrâneos.

De uma maneira geral foi observado que independente da área estudada, há um grau de contaminação dos poços, nesse contexto destaca-se o poço no bairro do Bonfim 1 (BONF), que apenas apresentou, em um dos meses, uma contagem acima do permitido pela portaria de consolidação Nº 5 de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde para bactérias heterotróficas, sem constatação posterior da existência de bactérias patogênicas. Esse fato corrobora a ideia inicial da pesquisa, que era o entendimento de que esses aquíferos têm uma susceptibilidade a processos de contaminação em razão da sua formação geológica, por estarem inseridos mais superficialmente no perfil estratigráfico, atrelado ao fator do baixo tratamento de esgoto no município de Igarassu, que potencializa o processo de contaminação dos mesmos.

Os resultados mostraram que a qualidade bacteriana da água subterrânea foi afetada, primordialmente, pela profundidade do lençol freático e pelo uso do solo. Os poços rasos com águas mais próximas da superfície apresentaram maiores níveis de bactérias heterotróficas e coliformes totais.

Ainda nesse contexto vale salientar que os poços analisados estão todos presentes na área urbana do município, não significando que os poços inseridos na área rural estejam isentos de processos de contaminação, visto que na área rural também existem agentes externos que podem promover o processo de contaminação aos mesmos.

Um outro aspecto que pode ser enfatizado é que a medida mitigadora, clorador, se demonstrou ineficiente no tratamento com coleta direta, esse fato pode estar caracterizado devido a água não ter tempo suficiente de contato com a pastilha de cloro presente no clorador no período das coletas, não estando o mesmo descartado como instrumento mitigador para tratamento de tais águas, cabendo novas análises, utilizando-se de outras metodologias na coleta/tratamento para atestar ou não se o mesmo realmente é eficiente.

Vale salientar que os modelos tradicionais de cloração feitos nas residências é o da

introdução das pastilhas de cloro diretamente nos reservatórios, pastilhas estas que tem tempo para dissolverem e assim agirem como desinfetador de microrganismos, estes podendo ser patógenos a exemplo da Bactérias Heterotróficas, *Escherichia coli*, *Clostridium Perfringens* e *Pseudomonas aeruginosa*.

Em relação aos resultados da análise de fitoplâncton as baixas concentrações dos mesmos pressupõe um equilíbrio ambiental, porém essa avaliação requer uma abordagem holística, considerando diversos fatores a exemplo da biodiversidade, da qualidade da água da estrutura trófica e outros componentes inerentes ao ecossistema, ou seja, baixas concentrações de fitoplâncton podem ser um sinal de equilíbrio em certos contextos, mas é necessário realizar análises e estudos mais aprofundados para entender completamente as condições e a saúde do ecossistema em questão.

Logo, fica claro a necessidade de se fazer o monitoramento, com estudos mais aprofundados, e também descontaminação das águas de aquíferos superficiais no município de Igarassu, sobretudo, quando levamos em consideração que este mecanismo de acesso a água é visivelmente crescente, em função da necessidade de acesso a água vivida por muitas comunidades do município e da Região Metropolitana do Recife, atrelado ao baixo custo de perfuração desses poços, em detrimento dos poços em aquíferos profundos (acima dos 30 metros).

Um outro aspecto relevante, evidenciado pela pesquisa, é a necessidade de mais estudos sobre aquíferos superficiais no município de Igarassu, objetivando, serem instrumentos que sirvam para o auxílio de futuras políticas públicas ligadas a saúde da população do município.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBORNOZ, L. A. L.; NAKANO, V.; AVILA-CAMPOS, M. J. Clostridium perfringens and necrotic enteritis in poultry: virulence, genetic and molecular factors. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 51, n. 3, p. 178-193, 2014.

ALENCAR, E. S.; BARROS, R. S.; JUNIOR, R. C. V. S.; TORQUATO, S. C.; MARQUES, W. L. S. Análise microbiológica e correlação do pH da água dos bebedouros utilizada para o consumo humano em escolas do município de Alagoa Grande-Paraíba. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, v. 19, n. 3, p. 457-465, 2020.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Hidrogeologia dos ambientes cársticos da bacia do São Francisco para a gestão dos recursos hídricos**. Brasília: [s. n.], 2018. 218 p. v. II. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/11828587-8176-4eb9-a367-0e4cdf9b2e3d/attachments/Volume_II_-_Hidrogeologia.pdf. Acesso em: 16 janeiro de 2021.

ANA - Agência Nacional de Águas. **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil. Brasília: Agência Nacional das Águas, 2002**. 68 p. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2002/AEvolucaoDaGestaoDosRecursosHidricosnoBrasil.pdf>. Acesso em: 05 janeiro de 2021.

ANA - Agencia Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil - Encarte Especial sobre a Crise Hídrica**. 2014. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/docs/crisehidrica.pdf>. Acesso em: 4 junho de 2021.

APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington: APHA, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. ABAS: **Águas Subterrâneas o que são**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/>. Acesso em: 12 maio de 2023.

ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGISTS (IAH); UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Groundwater. **Oxford: Wiley-Blackwell**, 2013. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118511572>. Acesso em: 06 de abril de 2023.

BEZIRTZOGLU, E.; DOMITRIOU, D.; PANAGIOU, A.; KAGALOU, I.; DEMOLIATES, Y. Distribution of Clostridium perfringens in different aquatic environments in Greece. **Microbiological research**, v. 149, n. 2, p. 129-134, 1994.

BONES, Ubiratan Alegransi et al. **Identificação molecular de Escherichia coli e avaliação de sensibilidade a antimicrobianos**. 2023.

BORGES, V. M.; FAN, F. M.; REGINALDO, P. A. R; ATHAYDE, G. B. Estimativa de recarga das águas subterrâneas no sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná, Brasil. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 4, p. 338, 2017.

BRAGA, E. A. S., AQUINO, M. D. de, ROCHA, C. M. S., MENDES, L. S. A. dos S., e SILVA, R. F. dos S. Classificação da água subterrânea para uso na irrigação. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 3, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Análises microbiológicas para controle de produção de origem animal e água: Instrução normativa nº 62**. Brasília: MAPA, 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 de maio de 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Consolidada nº 5, de 28 de setembro de 2017. **Controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 de setembro de 2017.

BRASIL. Lei nº. 9.433. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 08 jan. 1997.

BRASIL. Lei nº. 14.066. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 20 set. 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Inspeção Sanitária em Abastecimento de água**. Brasília: Ministério da Saúde, p. 84, 2007. (Série A. Normas e Manuais Técnicos).

BRASIL. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. **Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 jul. 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm. Acesso em: 09 janeiro 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 dez. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>. Acesso em: 09 jan. 2023.

BRASIL. Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015. **Regulamenta o acesso ao patrimônio**

genético, a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado, a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 maio 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13123.htm. Acesso em: 09 janeiro de 2023.

BROOKS, G. F.; CARROLL, K. C.; BUTEL, J. S.; MORSE, S. A.; MIETZNER, T. A. **Microbiologia Médica de Jawetz, Melnick & Adelberg-26.** AMGH Editora, 2014.

BRUM, B. R.; OLIVEIRA, N. R.; REIS, H. C. O.; LIMA, Z. M.; MORAIS, E. B. Qualidade das águas de poços rasos em área com déficit de saneamento básico em Cuiabá, MT: Avaliação microbiológica, físicoquímica e fatores de risco à saúde. **HOLOS**, v. 2, p. 179-188, 2016.

CARDOSO, A.L.S.P.; TESSARI, E.N.C.; CASTRO, A.G.M.; KANASHIRO, A.M.I.; GAMA, N.M.S.Q. Pesquisa de coliformes totais e coliformes fecais analisados em ovos comerciais no laboratório de patologia avícola de descavado. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 68, n. 1, p. 19-22, 2001.

CAPUCCI, E.; MARTINS, A. M.; MANSUR, K.; MONSORES, A. L. M. **Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas - orientações aos usuários.** 1a ed. DRM -RJ, 2001. p. 1-66.

CAVALCANTE, R. B.L.. Occurrence of Escherichia coli in water sources and point-of-use in a semi-arid rural community in Brazil. **Ambiente e Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 9, n. 3, p. 550-558, 2014.

COELHO, M. I. S.; MENDES, E. S.; CRUZ, M. C. S.; BEZERRA, S. S; SILVA, R. P. P. Avaliação da qualidade microbiológica de águas minerais consumidas na região metropolitana de Recife, Estado de Pernambuco. **Acta Scientiarum. Health Sciences**, v. 32, n. 1, p. 1-8, 2010.

COSTA FILHO, W. D.; COSTA, W.D. Caracterização hidrogeológica do Estado de Pernambuco. **Águas Subterrâneas**, 2000.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 dez. 2009. Seção 1, p. 81-84.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. **Estabelece as diretrizes, critérios e procedimentos para a utilização de água de aquíferos subterrâneos, por meio de poços, e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 4 abr. 2008. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res08/res39608.pdf>. Acesso em: 20 fevereiro de 2022.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS CNRH . **Resolução CNRH nº 15, de 11/01/2001**. Brasília: MMA, 2001.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Atlas Geológico do Estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 2010.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Aquíferos**. CPRM, Brasília/DF. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Aquiferos-1377.html>. Acesso em: 05 dezembro de 2022.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Pernambuco: Diagnóstico do município de Igarassu**. CPRM, Brasília/DF. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/16272/1/Rel_Igarassu.pdf. Acesso em: 10 março de 2021.

DOMINGUES, V. O.; TAVARES, G. D.; STÜKEN, F.; MICHELOT, T. M.; REETZ, L. G. B.; BERTONCHELI, C. M.; HÖMER, R. Contagem de bactérias heterotróficas na água para consumo humano: comparação entre duas metodologias. **Saúde (Santa Maria)**, p. 15-19, 2007.

DIAS, J. B.; HUSZAR, V. L. M. O papel dos traços funcionais na ecologia do fitoplâncton continental. **Oecologia Australis**, v. 15, n. 4, p. 799-834, 2011.

EMBRAPA. **ABC da Agricultura Familiar - Saneamento Básico Rural**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1005064/abc-da-agricultura-familiar-saneamento-basico-rural>. Acesso em: 10 abril de 2022.

FARIA, A. S.; KIPERSTOK, A.; MEDEIROS, Y. D. P.; BERETTA, M. Aproximação dos conceitos de gestão de recursos hídricos e Produção Limpa, utilizando a abordagem gestão da demanda. In: **Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2010. p. 1-5.

FILHO, J. M. (2004). Exploração de água subterrânea em zona urbana: caso da grande recife–PE. **Águas Subterrâneas**, 2004.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual Prático de Análise**. Fundação Nacional de Saúde. Vigilância Ambiental em Saúde. Brasília, 2013.

FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO. **Águas subterrâneas: o que é e qual a importância**. Disponível em: <https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa->

fundaj/revitalizacao-de-bacias/aguas-subterraneas-o-que-e-e-qual-a-importancia#:~:text=USO%20DAS%20%C3%81GUAS%20SUBTERR%C3%82NEAS%20NO%20BRASIL&text=Estima%2Dse%20que%20h%C3%A1%20mais,popula%C3%A7%C3%A3o%20brasileira%20em%20um%20ano. Acesso em: 13 julho de 2023.

GOETTEN, W. J. **Avaliação da governança da água subterrânea nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. 2015. 320 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2015.

GLEICK, P. H. **The world's water. 2000-2001. Report on Freshwater Resources**. Island Press, 2000. 1a ed. Washington: Island Press, 2000. 315p.

HEITOR, A. M.; PINA, A. P. Águas subterrâneas em Cabo Verde qualidade da água na Ilha de Santiago. **6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos PALOP**, p. 819-827, 2003.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. 2019.

INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. **Municípios e Saneamento - Igarassu (PE)**. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/pe/igarassu>. Acesso em: 02 fevereiro de 2023.

IPCC - Intergovernmental panel on climate change. **Climate Change and Land: An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. [S.l.]: IPCC, 2019.

IWERSEN, Anelise Talamini et al. Avaliação da qualidade microbiológica de águas minerais envasadas-dinâmica populacional de *Pseudomonas aeruginosa*. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 27, n. 2, 2009.

JACOBI, P. R.; CIBIM, J.; LEÃO, R. S. Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. **Estudos avançados**, v. 29, p. 27-42, 2015.

JACOMINI, Paulo Klinger Tito. **A Nova Classificação Brasileira de Solos**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco.

JOHN, D.M.; B.A. WHITTON; A.J. BROOK. **The freshwater algal flora of the British Isles: An identification guide to freshwater and terrestrial algae**. Cambridge University Press, 2002.

KLEIN, D. R. **Microbiology: Principles and Explorations**. 10th ed. New York: Wiley, 2017.

KOMÁREK, J.; CRONBERG, G., 2001. Some chroococcalean and oscillatoriacean Cyanoprokaryotes from southern African lakes, ponds and pools. **Nova Hedwigia**, p. 129-160, 2001.

KRAMMER, K.; LANGE-BERTALOT, H., 1991. Bacillariophyceae: Achnanthaceae. In: Ettl, H., Gerloff, I., Heynig, H., Mollenhauer, D. (eds.). **Süßwasser Flora von Mitteleuropa** 2, 576p.

MACEDO, I. M. E.; OLIVEIRA, F. H. P. C.; Lira, O. O.; PADILHA, M. D. R. F. MACHADO, J.; NÓBREGA, R. S.; SHINOHARA, N. K. S. (2017). Relação Fitoplâncton-Zooplâncton em Ambiente Oligotrófico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 05, p. 1368-1376, 2017.

MACEDO, I. M. E. ; SHINOHARA, N. K. S. ; OLIVEIRA, F. H. P. C. Bacteriological evolution of drinking water in food services. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 11, p. e51691110253, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i11.10253. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/10253>. Acesso em: 3 maio de 2023.

MACEDO, I. M. E., LIMA, F. R. F., LIMA, G. M. de S. S., OLIVEIRA, F. H. P. C. de, FILHO, M. C., & SHINOHARA, N. K. S. (2021). Análise microbiológica da água de consumo em serviços de alimentação em municípios de Pernambuco (Nordeste do Brasil)/ Microbiological analysis of drinking water in food services in municipalities in Pernambuco (Northeastern Brazil). **Brazilian Journal of Development**, 7(11), 103530–103542.

MACEDO, I. M. E.; DA SILVA, M. K. G.; SHINOHARA, N. K. S.; MATSUMOTO, M.; PADILHA, M. D. R. F.; XAVIER, V. L.; PIEMNTEL, R. M. M.; SOUZA, L. F.; ANDRADE, S. A. C. Qualidade Microbiológica da Água e do Camurupim (*Megalops atlanticus*-Valenciennes, 1847) em Lagoa Urbana (Microbiological Quality of Water and Camurupim (*Megalops atlanticus*-Valenciennes, 1847) in Urban Lagoon). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 391-396, 2019.

MAHEUX, A. F.; BÉRUBÉ, E.; BOUDREAU, D. K.; VILLÉGER, R.; CANTIN, P.; BOISSINOT, M.; BISSONNETTE, L.; BERGERON, M. G. Abilities of the mCP agar method and CRENAME alpha toxin-specific real-time PCR assay to detect *Clostridium perfringens* spores in drinking water. **Applied and environmental microbiology**, v. 79, n. 24, p. 7654-7661, 2013.

MASCARENHAS, A.; MARTINS, J.; NEVES, M. Avaliação de tratamento de águas superficiais efectuado na ETA de Alcantarilha com base na análise de indicadores de poluição fecal. **Universidade do Algarve. Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente, Faro**, 2002.

MATCHES, J. R.; LISTON, J.; CURRAN, D. *Clostridium perfringens* in the environment. **Applied microbiology**, v. 28, n. 4, p. 655-660, 1974.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **ABC da Agricultura Familiar**. Brasília: MAPA, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128259/1/ABC-Saneamento-basico-rural-ed01-2014.pdf>. Acesso em: 07 de abril de 2023.

MORAIS, J. B. A. **Vulnerabilidade e risco à poluição / contaminação das águas subterrâneas na área do complexo industrial portuário do Pecém – Estado do Ceará. 2016.** 241 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

OLIVEIRA, F. H. P. C. de .; MACEDO, I. M. E. .; SANTOS, M. F. dos .; ANDRADE, P. K. B. de .; SHINOHARA, N. K. S. Assessment of biotic and abiotic variables in water samples from the Metropolitan region of Recife (Pernambuco, Brazil). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. e21511528038, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i5.28038.

OSÓRIO, Q. S. **Vulnerabilidade de aquíferos e potencial de poluição das águas subterrâneas.** 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

PATHAK, D. R.; HIRATSUKA, A.; AWATA, I.; CHEN, L. Groundwater vulnerability assessment in shallow aquifer of Kathmandu Valley using GIS-based DRASTIC model. **Environmental geology**, v. 57, p. 1569-1578, 2009.

PERNAMBUCO. Lei nº 11.427, de 17 de janeiro de 1997. **Conservação e a proteção das águas subterrâneas no Estado de Pernambuco e dá outras providências.** Diário Oficial do Estado de Pernambuco, Recife, 1997, 17 de janeiro de 1997.

PINHEIRO, C. V. F. **Estudo da diversidade genômica associada à resistência antimicrobiana de baci-los gram-negativos não fermentados isolados de pacientes internados no hospital regional norte em Sobral.** 2023.

POPOVKÝ, J., PFIESTER, L. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 6: Dinophyceae (Dinoflagellida). **Book in German]. Spektrum Akademischer Verlag**, 1990.

PRADO, T.; SATO, M. I. Z. Impactos das mudanças ambientais globais e desastres sobre a epidemiologia das doenças de veiculação hídrica no Brasil. **Reduction of vulnerability to disasters: from knowledge to action**, p. 377, 2017.

PRESCOTT, G.W., BICUDO, C.E.M., VINYARD, W.C., 1982. A Synopsis of North American Desmids. Part II. Desmidiaceae: Placodermæ. Section 4. In Desmidiales. (Prescott,

G.W., ed.). **University Nebraska Press**, Lincoln, 698p.

PRUTEANU, M.; HYLAND, N. P.; CLARKE, D. J.; KIELY, B.; SHANAHAN, F. Degradation of the extracellular matrix components by bacterial-derived metalloproteases: implications for inflammatory bowel diseases. **Inflammatory bowel diseases**, v. 17, n. 5, p. 1189-1200, 2011.

PRUTEANU, M.; SHANAHAN, F. Digestion of epithelial tight junction proteins by the commensal *Clostridium perfringens*. **American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology**, v. 305, n. 10, p. G740-G748, 2013.

QUINTELA, S. I. S. **Qualidade da água para consumo humano: riscos associados à presença de biofilmes em torneiras de espaços escolares**. 2017. Tese de Doutorado.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA JR., B. P. F.; TUNDISI, J. G. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. In: **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2002. p. 732.

RIBEIRO, D. M.; ROCHA, W. F.; GARCIA, A. J. V. Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do rio Siriri, Sergipe. **Águas Subterrâneas**, v. 25, n. 1, p. 91-102, 2011.

ROGERS, P. P. Water crisis: myth or reality? 1ª ed. Londres: **Fundación Marcelino Botín**, Taylor & Francis, 2006. 344 p.

ROOD, J. I.; McCLANE, B. A.; SONGER, J. G.; TITBALL, R. W. The clostridia: molecular biology and pathogenesis. **Academic Press**, 1997.

SANTOS, S. R. Q.; SANSIGOLO, C. A.; NEVES, T. T. A. T.; CAMPOS, T. L. O. B.; SANTOS, A. P. P. Frequências dos eventos extremos de seca e chuva na Amazônia utilizando diferentes bancos de dados de precipitação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n.2, 2017, p. 1984-2295.

SANTOS, I. O.; SILVA, D. G.; SILVA, J. B.; SILVA, R. F.; CORRÊA, A. C. B. Aquífero Boa Viagem, uma Discussão de seus Usos Versus suas Potencialidades, Recife – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n.4, 2011, p. 1984-2295.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A.; TANIWAKI, M. H.; GOMES, R. A. R.; OKAZAKI, M. M. 2017. **Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água**. São Paulo: Editora Blücher, 535p.

SILVA, J. S. A. **Comunidade planctônica como indicadora do estado trófico em um viveiro de piscicultura**. 2020.

SILVEIRA DIB, B.; CANHOTO, O. M. F.; MORAES, R. P. G.; SILVA, I. R. Saneamento Básico: Impactos ambientais causados pelo despejo de esgoto no Rio Negro (Amazonas-Brasil). **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, p. e506111335693-e506111335693, 2022.

SOUZA, L. T. **Clostridium perfringens: uma revisão**. 2017.

SOUZA, N. A. **Vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas – um estudo do aquífero Bauru na zona urbana de Araguari, MG**. 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. 2009. Urban water demand management: prospects and challenges for the developing countries. **Water and Environment Journal**, v. 23, n. 3, p. 209-218.

SHIKWMANOV, I. A. (1998). World Water Resources a new appraisal and assessment for the 21st century. **State Hydrological Institute**, St Petersburg, Russia.

SRINIVASAMOORTHY, K.; VIJAYARAGHAVAN, K.; VASANTHAVIGAR, M. (2020). Groundwater quality and its management challenges in India: A review. **Groundwater for Sustainable Development**, 10, 100369. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100369>.

STREETER, K.; KATOULI, M. **Pseudomonas aeruginosa: a review of their pathogenesis and prevalence in clinical settings and the environment**. 2016.

TOBÓN, S. R.; CADAVID, R. M. A.; BUILES, L. A. G.. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. **Revista Facultad Nacional de Salud Pública**, v. 35, n. 2, p. 236-247, 2017.

UTERMOHL, H., 1958. Zur vervollkommer der quantitativen phytoplankton methodik. Mitt it Verein. Theory Angew.Limnologie 10, 109-122.

VASCONCELOS, U. R. G. **Investigação do antagonismo entre Pseudomonas aeruginosa e bactérias do grupo coliforme**. 2005. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

VASCONCELOS, M. B. Poços para captação de águas subterrâneas: revisão de conceitos e proposta de nomenclatura. **Águas Subterrâneas**, 2015.

VIEIRA, R.H.S.F. Microbiologia, higiene e qualidade do pescado: teoria e prática. In: **Microbiologia, higiene e qualidade do pescado: teoria e prática**. 2004. p. 380-380.

VRBA, J.; ZAPOROZEC, A. **Guidebook on mapping groundwater vulnerability**. Heise, 1994.

WANG, Y.; XU, Y.; XIAO, M.; YANG, J. Evaluation of intrinsic vulnerability of urban groundwater using a modified DRASTIC model in the megacity of Dhaka, Bangladesh. **Environmental Earth Sciences**, v. 62, n. 2, p. 237-246, 2011.

WARD, Ben A. et al. Phytoplankton functional traits and their biogeography in the global ocean. **Nature Microbiology**, v. 6, n. 2, p. 183-192, fev. 2021.

World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality. 4th ed. **Geneva: World Health Organization**; 2011.

WHO. World Health Organization. Microbial aspects. In: **Guidelines for drinking water**, Geneve: WHO, 2003, p.130-188.