

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
CAMPUS LARANJAL DO JARI
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

MARCELA ADRIANE PIRES DA SILVA

**AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E FATORES DE
INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ÁGUA EM POÇOS RESIDENCIAIS NO
MUNICÍPIO DE LARANJAL DO JARI, AMAPÁ, BRASIL**

Laranjal do Jari

2022

MARCELA ADRIANE PIRES DA SILVA

**AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E FATORES DE
INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ÁGUA EM POÇOS RESIDENCIAIS NO
MUNICÍPIO DE LARANJAL DO JARI, AMAPÁ, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – Ifap. Campus Laranjal do Jari como requisito avaliativo para obtenção do título de Tecnóloga em Gestão Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Darley Calderaro Leal Matos

Laranjal do Jari

2022

Biblioteca Institucional - IFAP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586a Silva, Marcela Adriane Pires da
Avaliação físico-química, microbiológica e fatores de influência na
qualidade da água em poços residenciais no município de Laranjal do Jari,
Amapá, Brasil / Marcela Adriane Pires da Silva - Laranjal do Jari, 2022.
61 f.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Laranjal do Jari,
Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, 2022.

Orientadora: Dra. Darley Calderaro Leal Matos.

1. Água subterrânea. 2. Parâmetros de qualidade. 3. Saneamento básico. I.
Matos, Dra. Darley Calderaro Leal, orient. II. Título.

MARCELA ADRIANE PIRES DA SILVA

AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E FATORES DE INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ÁGUA EM POÇOS RESIDENCIAIS NO MUNICÍPIO DE LARANJAL DO JARI, AMAPÁ, BRASIL

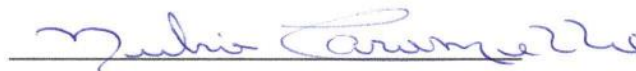
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá – Ifap campus Laranjal do Jari como requisito avaliativo para obtenção do título de Tecnóloga em Gestão Ambiental.

Orientadora: Dra. Prof.^a Darley Calderaro Leal Matos

BANCA EXAMINADORA



Dra. Darley Calderaro Leal Matos
Instituto Federal do Amapá – Campus LRJ
(Orientadora – Presidente da Banca)



Dra. Núbia Deborah Araújo Caramello
Instituto Federal do Amapá – Campus LRJ
(Avaliador titular)



Me. Raimundo de Moura Rolim Neto
Instituto Federal do Amapá – Campus LRJ
(Avaliador titular)

Aprovada (o) em: 13 / 12 / 2022

Nota: 100,0

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados durante todos os meus anos de estudo, me dando saúde e determinação para não desanimar e me permitindo ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo desta jornada.

A minha mãe por sempre me apoiar e sempre acreditar em mim, quando nem eu mesmo acreditava, me incentivando nos momentos difíceis e compreendendo a minha ausência enquanto me dedicava à realização deste sonho.

Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período em que me dediquei a este projeto, e por toda ajuda daqueles que diretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

A professora Darley, minha orientadora, por aceitar conduzir meu trabalho e tornar possível sua realização. Agradeço por todo incentivo, paciência, amizade e pela dedicação do seu tempo ao longo do desenvolvimento deste estudo, sempre disponível a compartilhar o seu vasto conhecimento, quero aqui demonstrar toda a minha gratidão por tê-la ao meu lado durante essa jornada.

Ao Instituto Federal do Amapá pela oportunidade, e a todos os professores que ministraram com excelência suas disciplinas, pela dedicação de cada um e por tudo que aprendi ao longo dos anos do curso, todos foram essenciais para meu processo de formação profissional.

RESUMO

Para garantir a qualidade da água utilizada em poços são necessários que sejam atendidos os padrões físicos, químicos e microbiológicos de potabilidade e a alguns critérios técnicos de infraestrutura e localização dos poços. O município de Laranjal do Jari, Amapá, não conta com rede coletora de esgoto doméstico, estimulando assim, a construção intensiva de fossas rudimentares que se caracteriza como o principal fator de contaminação dos corpos hídricos subterrâneos. Neste contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade de águas subterrâneas captadas em poços residenciais e relacioná-la a distâncias de fossas e condições de infraestrutura de construção dos poços em dois bairros no município. Para isto, foram coletadas amostras de água em dez poços nos bairros Agreste e Nova Esperança. As amostras foram avaliadas por meio de parâmetros físico-químicos e microbiológicos (turbidez, condutividade, pH, presença ou ausência de coliformes totais e *Escherichia coli*) e os resultados foram comparados com os limites estabelecidos pela PRC nº 888/2021 do Ministério da Saúde. Foi realizada entrevista estruturada com os proprietários das residências para levantar informações a respeito do uso da água e infraestrutura dos poços, assim como medida a distância dos poços as fossas no entorno. Foi feita uma Análise de Componentes Principais (PCA) para constatar correlações entre os resultados das análises físico-químicas e alguns fatores de influência na qualidade. O resultado da análise microbiológica resultou em ausência de microrganismos. Quanto aos parâmetros físico-químicos, quatro poços estiveram fora dos padrões para turbidez (>1 UT), e todos os poços analisados tiveram Condutividade Elétrica elevada (>100 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$), e pH com média 3,9 caracterizando água ácida e fora do limite estabelecido pela legislação. A maioria dos poços do bairro Nova Esperança apresentaram condições piores por apresentar água com maior condutividade, menor pH, poços mais rasos e distâncias dos poços as fossas menores, em relação ao analisado no Bairro Agreste. Assim, pode-se inferir que o recurso hídrico subterrâneo captado nos bairros analisados não estão adequados para consumo humano de acordo com os padrões de qualidade estabelecidos pelas legislações vigentes.

Palavras-chave: água subterrânea. parâmetros de qualidade. saneamento. fossas rudimentares.

ABSTRACT

To guarantee the quality of the water used in wells, it is necessary to meet the physical, chemical and microbiological standards of potability and some technical criteria of infrastructure and location of the wells. The municipality of Laranjal do Jari, Amapá, does not have a domestic sewage collection network, thus stimulating the intensive construction of rudimentary cesspools, which is the main factor of contamination of underground water bodies. In this context, this study aimed to evaluate the quality of groundwater collected from residential wells and relate it to the distance from septic tanks and infrastructure conditions for the construction of wells in two neighborhoods in the municipality. For this, water samples were collected from ten wells in the Agreste and Nova Esperança neighborhoods. The samples were evaluated using physical-chemical and microbiological parameters (turbidity, conductivity, pH, presence or absence of total coliforms and *Escherichia coli*) and the results were compared with the limits established by PRC n° 888/2021 of the Ministry of Health. A structured interview was carried out with the owners of the residences to gather information on water use and well infrastructure, and the distance between the wells and the surrounding pits was measured. A Principal Component Analysis (PCA) was carried out to verify correlations between the results of the physical-chemical analyzes and some factors that influence quality. The result of the microbiological analysis resulted in the absence of microorganisms. As for the physical-chemical parameters, four wells were outside the standards for turbidity (>1 UT), and all wells analyzed had high Electrical Conductivity (>100 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$), and pH with an average of 3.9 characterizing acidic water and outside the limits established by law. Most of the wells in the Nova Esperança neighborhood had worse conditions because they had water with greater conductivity, higher pH, shallower wells and distances from the wells to smaller cesspits, in relation to what was analyzed in the Bairro Agreste. Thus, it can be inferred that the underground water resource captured in the analyzed neighborhoods is not suitable for human consumption according to the quality standards established by current legislation.

Keywords: underground water. quality parameters. sanitation. rudimentary septic.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 Geral.....	11
2.2 Específicos.....	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
3.1 A água no meio ambiente.....	12
3.2 Água subterrânea.....	14
3.3 Impactos sobre as águas subterrâneas.....	19
3.3.1 A falta de saneamento e sua influência na contaminação.....	19
3.3.2 Infraestrutura dos poços.....	21
3.4 Doenças de veiculação hídrica.....	22
3.5 Leis e normas de padrão de potabilidade da água para consumo humano.....	23
3.6 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade da água.....	24
3.6.1 Turbidez.....	25
3.6.2 Condutividade Elétrica (CE)	25
3.6.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)	26
3.6.4 Coliformes Totais e <i>Escherichia coli</i>	26
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	27
4.1 Descrição da área de estudo.....	27
4.2 Localização dos pontos de coleta.....	29
4.3 Instrumentos de coleta de dados.....	30
4.3.1 Coleta das amostras de água.....	30
4.3.2 Métodos para análises Físico-químicas e Microbiológicas.....	31
4.3.3 Coleta de dados da infraestrutura dos poços.....	34
4.3.4 Coleta de informações da distância do poço-fossa.....	34
4.4 Análise de dados.....	35

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1 Análises individuais dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.....	37
5.1.1 Turbidez.....	37
5.1.2 Condutividade elétrica (CE)	38
5.1.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)	40
5.1.4 Coliformes totais (CT) e <i>Escherichia coli</i> (EC)	41
5.2 Condições de infraestrutura dos poços e dados sobre as fossas no entorno.....	43
5.3 Correlações dos parâmetros com os fatores de influência na qualidade através da Análise de Componentes Principais (PCA).....	46
6 CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural limitado, essencial e indispensável para a sobrevivência e garantia da qualidade de vida da população humana e não se conhece outro elemento que possa substituí-la (WHATELY; CAMPALINI, 2016). A relação do ser humano com os corpos d'água data de tempos imemoriais, sendo de extrema importância para a manutenção da vida no planeta em todos os seus aspectos (LIBÂNIO, 2016). O uso de água para abastecimento humano está intrinsicamente ligado à história da humanidade, principalmente a partir do momento em que esta deixou de ser nômade e passou a ter vida sedentária, procurando sempre se instalar em locais próximos a este recurso (SANTOS, 2017).

Com o passar do tempo, através dos processos de urbanização e crescimento populacional a demanda por esse recurso tem se tornado cada vez mais crescente, sendo necessário buscar alternativas para suprir a necessidade mundial a fim de garantir o direito de acesso à água potável a todos, visto que sem esse recurso não há vida. No entanto, cerca de 97% da água disponível no planeta corresponde a mares, oceanos e lagos de água salgada, ou seja, imprópria para o consumo. Os 3% restantes, dividem-se nas calotas polares, reservas subterrâneas, e sua menor parte em rios e lagos (VON SPERLING, 2006).

Como alternativa à busca por água potável, tendo como fator motivacional a baixa disponibilidade hídrica superficial aliada ao difícil acesso à água através da rede de distribuição convencional, o ser humano iniciou a perfuração de poços, onde ocorre a captação de águas subterrâneas diretamente dos aquíferos, que de acordo Phillipi (2005) são caracterizados como uma massa rochosa com alta porosidade e permeabilidade, que acumula água subterrânea em abundância. A opção por captação de águas subterrâneas, segundo Libânio (2016), apresenta vantagens inquestionáveis, devido às características de uma água bruta por conta da percolação através dos poros granulares do solo, permitindo descartar, salvo exceções, os processos de potabilização.

De acordo com estudos do Instituto Trata Brasil (2019), cerca de 52% dos municípios brasileiros são abastecidos total ou parcialmente por águas subterrâneas. No entanto, existem critérios técnicos para a construção de poços visando à proteção dos reservatórios hídricos, que devem ser respeitados, os quais tratam sobre profundidade, equipamentos e métodos de construção, bem como também existe a necessidade de licenças expedidas por órgãos competentes, a fim de garantir a qualidade do recurso a ser captado. Ainda assim, fatores externos influenciam negativamente na qualidade desse recurso, principalmente a ausência de um saneamento básico adequado para a maioria dos municípios brasileiros (LIBÂNIO, 2016).

Segundo Duarte (2015), a população mundial está em constante crescimento e rápido desenvolvimento, aumentando assim o consumo de água. Por outro lado, há o crescimento na eliminação de dejetos, se fazendo necessário um sistema de saneamento básico eficiente. Sob o mesmo ponto de vista Carli e Costa (2020) afirmam que água potável e saneamento estão intrinsecamente ligados. Nesse sentido, a falta de saneamento nas cidades surge como um fator com grande potencial de contaminação dos corpos hídricos subterrâneos. Além disso, poços construídos sem critérios técnicos adequados não obedecendo à distância mínima de quinze metros da fossa não permitem condições qualitativas básicas de potabilidade da água, facilitando assim sua contaminação (ABNT, 1993).

Acerca disso, Silva *et al* (2014) ressalta que a vulnerabilidade associada a condições ambientais, tais como a presença de fossas em locais onde há falta de rede coletora de esgotos, além da construção inadequada dos poços, que são empregados sem controle ou monitoramento da qualidade da água, são fatores que podem aumentar a exposição da população usuária a poluentes e contaminantes que estão diretamente associados a estas condições.

Dentre todas as regiões do Brasil, deficiência de saneamento é mais evidente na região Norte, onde somente 12% da população possui coleta de esgoto, o que influencia negativamente no agravamento da contaminação de águas subterrâneas e conseqüentemente nos elevados índices de doenças de veiculação hídrica (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2019). Para evidenciar essa precariedade, o Instituto Trata Brasil (2021) demonstrou que Macapá, capital do estado do Amapá, se caracteriza como a cidade com o pior saneamento (água, esgoto, resíduo e drenagem) do Brasil.

Dados do IBGE (2010) apontam que em Laranjal do Jari, terceiro maior município em número de habitantes do estado do Amapá, 48,4% das residências urbanas utilizava o modelo de fossas rudimentares no período analisado demonstrando uma grande deficiência nos serviços de saneamento básico necessários. Esse modelo, muitas vezes visto como correto e inofensivo, continua sendo adotado constantemente como método mais acessível de despejo dos dejetos humanos, devido à contínua falta de saneamento básico e principalmente rede coletora de esgoto doméstico no município (SNIS, 2020). Como consequência, no município de Laranjal do Jari, nos últimos dez anos, foram registrados 1.530 casos de internações por doenças de veiculação hídrica (DATASUS, 2021).

O despejo de esgoto não tratado diretamente no solo se torna algo preocupante quando se trata do potencial de contaminação desse material, por possibilitar o contato de microrganismos patogênicos ao solo e conseqüentemente às reservas subterrâneas. Desse

modo, quando não enquadrada nos padrões de potabilidade previstos nas legislações vigentes, a água pode ser considerada uma potencial fonte transmissora de doenças, pela possibilidade de carregar consigo diversos microrganismos patogênicos, que podem ser favorecidos pelas condições físico-químicas do ambiente, sendo eles bactérias, vírus, protozoários, dentre outros, que quando ingeridos causam enfermidades no organismo humano. Diversos microrganismos não são naturalmente encontrados em águas subterrâneas, e quando se manifestam, comumente são indicativos de alguma fonte de contaminação antrópica (LIBÂNIO, 2016).

Nessa perspectiva, o acesso à água potável junto aos demais eixos do saneamento básico é um direito de todos segundo o sexto Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS), o qual foi estabelecido pela Organização das Nações Unidas, em 2015, com vistas a ser alcançado até o ano de 2030 (OPAS-BRASIL, 2015). Assim, estudos que visem analisar a qualidade físico-química e microbiológica da água são importantíssimos, pois detectam possíveis indicadores de alteração de sua potabilidade, e podem subsidiar posteriores estudos e nortear os tratamentos adequados para readequação da fonte de captação para que a mesma possa se encaixar nos padrões de potabilidade determinados pela Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde que trata sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2021).

No entanto, apesar da relevância do tema, não existem estudos publicados sobre a qualidade da água de poços residenciais em Laranjal do Jari. Dessa forma, tendo em vista a significativa importância da água para a vida e para diferentes utilidades, bem como a possível contaminação desta devido a presença de fossas rudimentares e os riscos à saúde humana, se fez indispensável a realização de um estudo que avaliasse a qualidade da água através de análises físicas, químicas e microbiológicas para verificar se estão dentro dos padrões de potabilidade para o consumo diante da Portaria de Consolidação nº 888, de 04 de maio de 2021 (BRASIL, 2021) e constatar os principais fatores que podem influenciar nesta qualidade em águas de poços utilizadas para o consumo humano no município.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a qualidade físico-química e microbiológica de águas subterrâneas captadas em poços residenciais e relacioná-la a distância de fossas rudimentares e condições de infraestrutura de construção dos poços ocorrentes nos bairros Agreste e Nova Esperança no município de Laranjal do Jari - Amapá.

2.2 Específicos

- Analisar a qualidade da água proveniente de poços residenciais quanto aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos e comparar com Portaria de Consolidação nº 888, de 04 de maio de 2021, do Ministério da Saúde.
- Investigar as condições de infraestrutura, tempo de atividade e localização dos poços, e avaliar se são adequadas segundo os critérios técnicos necessários;
- Verificar se as distâncias dos pontos para as fossas presentes no entorno e as características dos poços estão relacionadas aos dados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da qualidade da água subterrânea, obtidos através da análise.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A água no meio ambiente

Sabe-se que a água é um dos componentes em maior quantidade no planeta, correspondendo cerca de 70% da cobertura do mesmo. A água se faz presente nos mais variados processos cotidianos, desde as águas das chuvas, rios e mares, até para o consumo dos seres vivos. Observa-se que mesmo que a água exista em abundância no planeta, menos de 1% é considerada própria para consumo humano e com o aumento da degradação ambiental essa porcentagem tende a diminuir (GIATTI, CUTOLO, 2012).

A literatura relata que 97,5% da água no mundo é salgada proveniente dos mares e oceanos. A água doce corresponde a apenas 2,5%, sendo encontradas nas geleiras e calotas polares, reservas subterrâneas, umidade dos solos e água dos pântanos, além dos rios e lagos que são comumente utilizados para o abastecimento público (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006; VICTORINO, 2007).

No contexto de disponibilidade de água para o consumo humano, o Brasil possui um grande destaque, isto porque o país conta com a reserva de 12% de toda a água doce

disponível no mundo, tendo ainda apenas 2,8% da população mundial, oferecendo assim a possibilidade de atender toda a sua população. Ainda nesse cenário, a população brasileira tem como vazão média 33.000 m³/hab.ano, favorecendo mais ainda a sociedade brasileira. Porém, é notório que em algumas regiões do país, como o Nordeste, existe desigualdade na disponibilidade hídrica, tendo em vista que as grandes reservas de água se encontram na bacia Amazônica, região com menor índice demográfico brasileiro (DI BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008; AUGUSTO *et al.*, 2012).

O estudo de Libânio (2010) aponta que a maioria da água que atualmente é consumida nas cidades é proveniente da captação das águas dos rios, que passam por um processo de tratamento para tornar-se própria ao consumo humano. Além disso, 70% da água potável é utilizada nas atividades econômicas, como a agricultura, na forma de irrigação dos plantios. Percebe-se também que a indústria consome grandes volumes de água potável, podendo ocasionar em problemas ambientais, principalmente no que diz respeito à disponibilidade desse recurso nos próximos anos (PORTO *et al.*, 2011; AUGUSTO *et al.*, 2012). Tais fatos aumentaram as discussões acerca dessa problemática ambiental, quebrando o antigo paradigma de que a água é um recurso natural inesgotável (MIRANDA; TEIXEIRA, 2004).

Nesta perspectiva, a Organização Mundial da Saúde (OMS) demonstra certa preocupação quanto à problemática do consumo desenfreado da água, assim como a constante degradação ambiental da mesma pelas ações antrópicas. Essa organização frisa ainda que nas próximas cinco décadas acontecerá uma diminuição drástica nos níveis de água doce disponíveis para o consumo humano, principalmente pela falta de gestão dos recursos hídricos, assim também como a poluição dos mananciais (OMS, 2019).

A Organização das Nações Unidas (ONU) frisa a necessidade de 3,3 m³/pessoa/mês de água para o consumo de uma pessoa por mês, levando em consideração as atividades de higiene e consumo diário. Porém, nota-se que a realidade brasileira é distante do que é considerado correto, tendo em vista em alguns estados existe precariedade no acesso a água potável e altos níveis de desperdício da mesma (BRASIL, 2006).

Dados do relatório do Instituto Internacional de Pesquisa de Política Alimentar alertam que nas próximas três décadas quase 5 bilhões de pessoas não terão acesso a água potável, vivendo assim em uma situação de estresse hídrico (REVISTA ÁGUA, 2014). Essa situação acontecerá devido a poluição das águas, comprometendo assim o seu tratamento (SOUZA, 2007).

Diante da baixa disponibilidade hídrica superficial, assim como a degradação constante dessas fontes de captação, o ser humano iniciou a exploração das reservas subterrâneas como alternativa na busca por água potável.

3.2 Água subterrânea

O trabalho de Natal e Nascimento (2004) mostra que a captação de água para consumo humano pode ser realizada de duas formas, pelas águas superficiais e pelas águas subterrâneas. Os autores frisam ainda que o uso das águas subterrâneas para o consumo humano é uma prática muito antiga, sendo observada desde os tempos primitivos, com a perfuração de poços profundos (NATAL; NASCIMENTO, 2004). A água subterrânea surge da seguinte forma:

Uma parte da água da chuva que escoar pelo processo de escoamento superficial é levada pelas águas superficiais diretamente para o oceano, mas a maior parte que cai no solo é lixiviada através das camadas permeáveis da rocha e é armazenada, em aquífero, [...], os poços cavados até esses aquíferos suprem uma parcela substancial da água destinada para o consumo humano (SPIRO; STIGLIANI, 2009, p. 182).

Desse modo, a grande parcela das águas subterrâneas disponíveis atualmente são provenientes das águas das chuvas que se infiltram no solo, passando por um processo de filtração até chegar nos aquíferos. Tal fato, demonstra a relevância das águas subterrâneas como uma alternativa para o consumo humano e abastecimento (IRITANI; EZAKI, 2008).

Phillipi (2005) salienta que as fontes de águas subterrâneas podem ser classificadas em diferentes nomenclaturas, como poços rasos e profundos, nascentes e galerias de infiltração. O autor comenta ainda que os aquíferos são formações geológicas onde é comumente encontrado água.

A principal metodologia de captação de águas subterrâneas é através da construção de poços subterrâneos. Esse tipo de poço tem como principal característica o diâmetro pequeno da abertura e a grande profundidade, “quando as águas fluem naturalmente do solo em um aquífero denominado confinado (totalmente preenchido de águas, cujo teto e piso são fragmentos impermeáveis) até chegar ao nível superior, caracteriza-se a existência de um poço artesiano” (ROCHA; LOPES, 2015, p. 50).

Outra categoria de método de captação de águas subterrâneas são os poços semi-artesianos. Esse poço não possui pressão suficiente para jorrar a água até a superfície, sendo

necessária a utilização de uma bomba d'água. Os poços artesianos e semi-artesianos também são conhecidos como poços tubulares profundos, tendo em vista as altas profundidades para chegar à fonte principal de água (ROCHA; LOPES, 2015). Hirata (2018) comenta que a instalação de um poço artesiano é feita com o uso de uma furadeira gigante, bastante utilizada na indústria de petróleo.

Para Natal e Nascimento (2004) as águas subterrâneas possuem inúmeras vantagens quanto ao seu uso, principalmente no que tange o baixo custo de captação de águas em poços, o que se torna uma alternativa viável e de boa qualidade para o abastecimento público, especialmente para pequenas e médias populações como as comunidades tradicionais que não possuem acesso a água distribuída pelas concessionárias.

Observa-se que em alguns casos, as águas provenientes de poços profundos não necessitam de tratamento prévio para consumo, visto que o processo de filtração natural que acontece durante o seu trajeto entre as camadas do solo já garante a potabilidade (IRITANI; EZAKI, 2008). Ressalta-se que a perfuração correta dos poços, seguindo as orientações técnicas permite que as águas subterrâneas sejam utilizadas em sua totalidade, acarretando em diversos benefícios (GRAY, 1994; PALUDO, 2010), tais como:

1. Utilização de seu abastecimento para inúmeros fins (residências, indústrias, fazendas, hotéis, hospitais e escolas);
2. Menor valor de custo por m³ comparado as demais fontes de abastecimento;
3. Abastecimento constante independente das redes gerais, sem cortes temporários e livres de defeitos provocados por rompimentos de canalizações;
4. Solução alternativa eficaz para os problemas consequentes da escassez hídrica;
5. O poço tubular está localizado no interior do subsolo, nos chamados aquíferos, os quais são regiões de alta concentração de água infiltrada em rochas e sedimentos, preenchendo todos os poros e fraturas, sendo equivalente a uma filtração natural.

Paludo (2010) complementa ainda sobre as vantagens do uso de águas subterrâneas para consumo, apontando que esse tipo de recurso hídrico é auto renovável, com alto índice de pureza, devido ao processo de filtração natural, ressaltando ainda que o tratamento de potabilidade dessas águas não é tão complexo quanto de águas superficiais.

A utilização de águas subterrâneas acontece em todo o mundo, tendo em vista a necessidade de atender a demanda populacional dos países por água própria para consumo, assim como para promover as atividades econômicas. O relatório do Instituto Trata Brasil (2018) ressaltou que desde 2010 o consumo de água subterrânea no mundo aumentou

significativamente, cerca de 1.000.000 m³ por ano, tais fatos mostram que as águas subterrâneas são um dos recursos do subsolo com maior índice de extração. No quadro a seguir são apresentados os países com maiores índices de extrações por ano e o uso de águas subterrâneas para consumo humano.

Quadro 1 – Países com maiores índices de extração de águas subterrâneas.

PAÍSES	Extração de água subterrânea	
	Vazão anual estimada em 2010(mm ³ /ano)	Uso doméstico e urbano (%)
Índia	251.000	9
China	111.950	20
Estados Unidos	111.700	23
Paquistão	64.820	6
Irã	63.400	11
Bangladesh	30.210	13
México	29.450	22
Arábia Saudita	24.240	5
Brasil	17.580	66 (*)
Indonésia	14.930	93
Turquia	12.220	32
Rússia	11.620	79
Síria	11.290	5
Japão	10.940	29
Tailândia	10.740	60
Itália	10.400	23

Fonte: Elaborado a partir de Hirata (2018) (*) que inclui uma parcela do abastecimento rural e doméstico, saneamento em indústrias e serviços urbanos.

No contexto brasileiro, a distribuição das águas subterrâneas é desigual, assim como a distribuição das águas superficiais. Este fato acontece devido ao regime de chuvas nas regiões brasileiras serem desiguais, visto que nos estados da região amazônica o regime de chuvas é abundante, enquanto isso, os estados da região Nordeste sofrem com longos períodos de seca (BRASIL, 2019). Para Sousa (2016), o Brasil possui capacidade hídrica suficiente para atender toda a sua população, porém, a inexistência de um sistema de gestão hídrica dificulta o acesso para uma grande parcela da sociedade brasileira.

O Instituto Trata Brasil (2018) frisa ainda que mesmo que o processo de distribuição de águas subterrâneas não seja eficiente, tendo em vista as desigualdades existentes, esse é um dos recursos naturais brasileiro com maior índice de extração. Salienta-se também que o país conta com mais de 2 milhões de poços tubulares em pleno funcionamento, tendo como produção anual de aproximadamente 17.580 milhões de m³/ano (557 m³/s), ou seja, um “volume suficiente para abastecer a cada ano a atual população brasileira ou 10 regiões metropolitanas do porte de São Paulo, o equivalente a 217 milhões de pessoas” (HIRATA, 2018, p. 6).

No Quadro 2 tem-se os principais usos da água subterrânea:

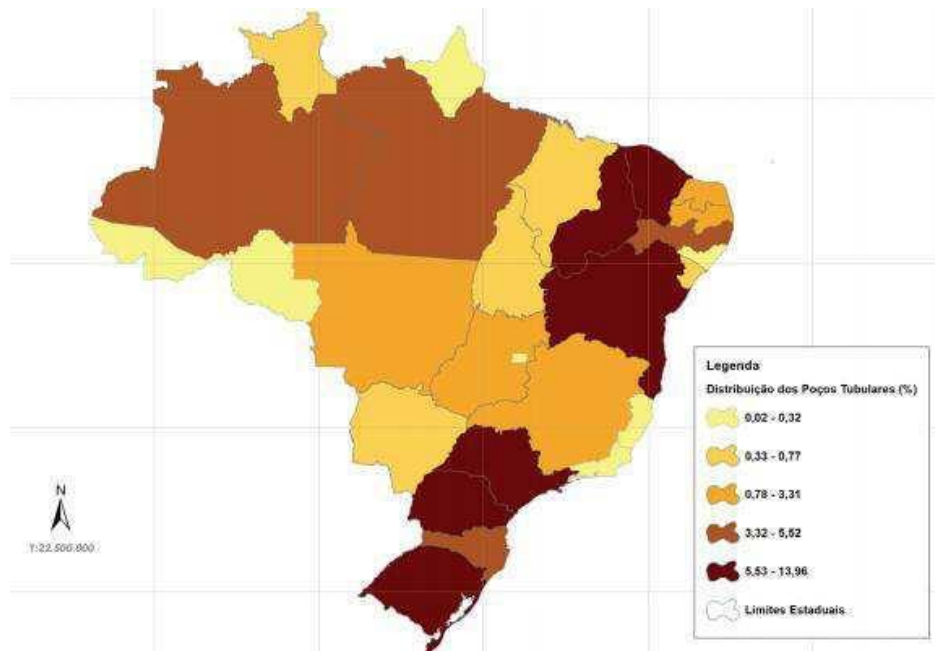
Quadro 2 – Usos comuns das águas subterrâneas.

ATIVIDADE	PERCENTUAL DE USO (%)
Atendimento doméstico	30
Agropecuário	24
Abastecimento público urbano	18
Abastecimento múltiplo	14
Abastecimento industrial	10
Lazer, etc.	4

Fonte: Elaborado a partir de Hirata (2018)

Como pode ser observado o maior consumidor das águas subterrâneas é o abastecimento doméstico, seguido das atividades relacionadas com o setor da agropecuária. Observa-se que as cidades com maiores índices de uso das águas subterrâneas são: São Paulo, Piauí, Ceará, Rio Grande do Sul, Bahia e Paraná (Figura 1).

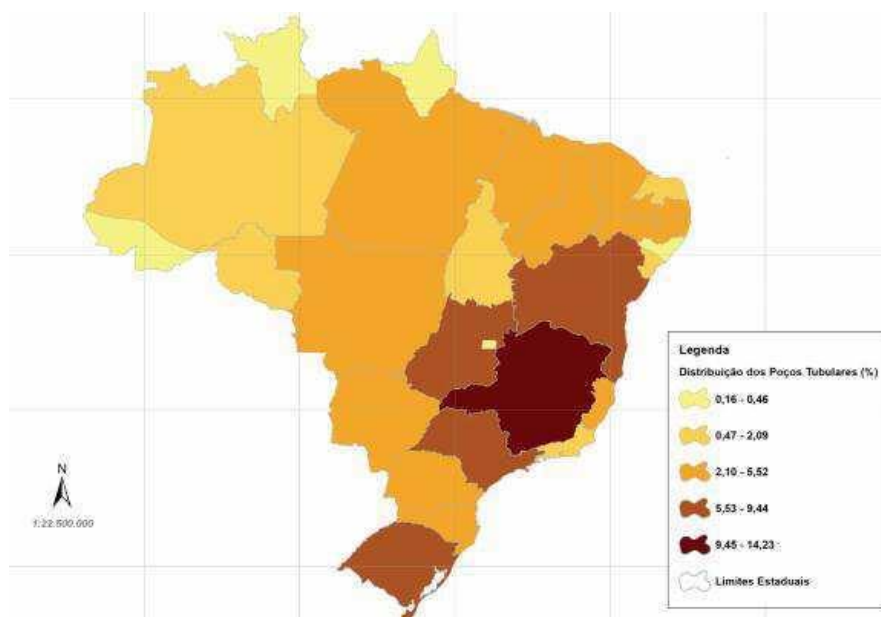
Figura 1 – Mapa de distribuição dos poços tubulares para uso urbano por localidade no Brasil



Fonte: CPRM (2018).

Observa-se também que o estado de Minas Gerais é o principal consumidor de águas subterrâneas para o uso rural, seguidos de São Paulo, Bahia, Tocantins e Rio Grande do Sul (Figura 2).

Figura 2 – Mapa de distribuição dos poços tubulares para uso rural por localidade no Brasil



Fonte: CPRM (2018)

Assim, os mananciais subterrâneos possuem uma grande relevância para a população, visto que em muitas regiões eles são a principal fonte de água para abastecimento e consumo da sociedade em geral. Diante disso, faz-se necessário ressaltar a importância da preservação dos recursos hídricos subterrâneos, visto que uma parcela significativa da população brasileira faz uso desse recurso como forma de sobrevivência, sendo necessário incentivo público para evitar as contaminações ambientais que vem crescendo a cada ano.

3.3 Impactos sobre as águas subterrâneas

Apesar das águas subterrâneas estarem mais protegidas que as águas superficiais, elas também estão sujeitas a contaminação. Ayach afirma que:

A poluição das águas subterrâneas provenientes de fontes urbanas ocorre pelo lançamento de esgotos sanitários em áreas não ligadas às redes coletoras de esgotos; vazamento no sistema de esgotos municipais; pela infiltração em lagoas de oxidação não revestidas, usadas no tratamento de esgotos; pela disposição de resíduos em áreas não revestidas (lixões); pela infiltração de produtos do petróleo, gasolina, óleo diesel e álcool carburante, provenientes dos tanques de estocagem dos postos de abastecimento e, também, devido à descarga no solo de despejos nitrogenados da indústria alimentícia. Diante deste cenário, podemos observar que existe uma forte ligação da inadequação das condições de saneamento básico com a contaminação das águas subterrâneas, sendo de extrema relevância o monitoramento da qualidade dessas águas, como forma de compreender as diversas fontes de contaminação, abrangendo as implicações ambientais decorrentes e de saúde da população (AYACH *et al.*, 2009. p 6).

Para ANA (2007) as principais fontes de contaminação das águas subterrâneas estão relacionadas com o esgotamento sanitário pela falta de saneamento, com a construção dos poços, sem levar em consideração as normas técnicas, e resíduos sólidos dispostos em locais inadequados.

3.3.1 A falta de saneamento e sua influência na contaminação

A Lei nº 11.445/07 estabelece como saneamento básico no Brasil um conjunto de variadas atividades, envolvendo desde abastecimento de água potável a tratamento e coleta de esgoto. Atividades essas que objetivam garantir o bem-estar e saúde dos indivíduos (BRASIL, 2007). Assim, podemos afirmar que um dos principais indicadores de saneamento básico eficiente é a qualidade da água para o consumo humano, tanto no que diz respeito ao

tratamento com vistas a garantir a potabilidade da água ofertada pela rede de distribuição convencional, quanto a medidas de saneamento adequadas para prevenir impactos nas reservas subterrâneas.

O aumento das atividades urbanas intensificou o processo de poluição ambiental, principalmente no que diz respeito ao aumento na produção de dejetos, sendo necessário um sistema de saneamento básico eficiente, no entanto, este é oferecido à minoria da população brasileira. Libânio (2016) alerta que um dos principais fatores que interferem na qualidade das águas subterrâneas é a falta de saneamento nos municípios brasileiros, principalmente pelo intensivo uso de fossas, que são frequentemente construídas de forma rudimentar. Beaudet *et al.* (2014) pontuam ainda que esse material ao ser disposto sem tratamento passa pelo processo de infiltração no solo chegando até os aquíferos, provocando assim a contaminação do mesmo.

Segundo dados do Instituto Trata Brasil (2019) a ausência de saneamento é mais evidente no Norte, onde somente 12% da população possui coleta de esgotos. O mesmo instituto realizou um levantamento das cidades com piores serviços de saneamento básico do país, onde a capital do estado do Amapá liderou o ranking ocupando o primeiro lugar, entre os cem maiores municípios do Brasil analisados (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2022).

Sabe-se que o município de Laranjal do Jari - Amapá, não conta com coleta e tratamento de esgoto doméstico, e na maioria dos casos, os dejetos são lançados diretamente no solo e em outros casos nos mananciais superficiais. Segundo dados do IBGE (2010), havia residências no município sem banheiro, e a 48,4% tinha como forma de esgotamento sanitário, fossa rudimentar. Fato esse que contribui negativamente no agravamento da poluição ambiental quando se trata do potencial de contaminação desse modelo de fossa, por possibilitar o contato de microrganismos patogênicos ao solo, e conseqüentemente as reservas subterrâneas (SILVA *et al.*, 2010).

Em um estudo desenvolvido por Mesquita *et al.* (2014) na Ilha de Mosqueiro, no estado do Pará, foi possível observar que o elevado índice bacteriológico encontrado nas análises pode estar associado com a infiltração de fossas, que comprometem a qualidade dos lençóis freáticos, uma vez que a presença de coliformes totais foi mais encontrados nas amostras de água provenientes de poços localizados em sua grande parte em áreas com pouca infraestrutura de saneamento, contaminando o lençol freático e assim interferindo na qualidade da água subterrânea.

Diante disto, observa-se que a falta de saneamento básico em uma região pode ser um fator de risco para a alteração da qualidade das águas subterrâneas e conseqüentemente para a

saúde humana. Assim, faz-se necessário a observação na adoção de critérios técnicos apropriados a respeito da construção de poços subterrâneos, pois a infraestrutura desses métodos de captação, quando inadequada, pode facilitar o processo de contaminação.

3.3.2 Infraestrutura dos poços

O crescimento populacional tem contribuído para o aumento do consumo da água subterrânea, no entanto, a frágil política de expansão da rede de serviço e a falta de fiscalização têm ocasionado à aberturas irregulares, sem nenhum estudo técnico para implantação do poço em áreas suscetíveis à contaminação. Isto resulta no possível comprometimento da qualidade da água para uso e consumo e tem por consequência a contaminação dos lençóis freáticos (MAIA et al, 2021).

Sobre a necessidade de registros e autorizações, onde por meio deles seria possível o controle e regulamentação dos processos de aberturas de poços através de empresas capacitadas e conseqüentemente maior proteção dos reservatórios hídricos subterrâneos, Hirata (2018) afirma:

Apesar da obrigatoriedade por lei do registro e/ou de autorização de extração (outorga) de água, o número de captações regulares e legais é de pouco mais de 1%, no caso dos poços tubulares. A quantidade de água extraída ou o seu valor são mascarados por essa condição de clandestinidade e qualquer estudo que busque identificar o papel do recurso hídrico subterrâneo deve superar a falta de dados oficiais. (HIRATA, 2018, p.4)

É notório que os poços subterrâneos se apresentam como uma importante alternativa para o abastecimento e consumo de água potável para a população, principalmente por conta da baixa disponibilidade hídrica superficial. Porém, faz-se necessário tomar certas medidas quanto aos critérios adotados nas construções desses poços. Deve ser seguida toda a orientação presente na NBR 12244, que trata sobre construção de poços subterrâneos, para que não aconteça a contaminação do aquífero local pelas atividades ali desenvolvidas (ABNT, 1993).

Um trabalho realizado por Camargo e Paulosso (2009) em um bairro no município de Carlinda, Mato Grosso, demonstrou que um dos fatores do alto nível de contaminação observados nas análises se deve à falta de infraestrutura na abertura dos poços, pois todos os moradores pesquisados afirmaram que a proximidade entre a fossa negra e o poço era igual ou inferior a 10 metros. O que é inadequado, pois a distância mínima segura a ser obedecida

segundo as determinações da NBR 7229/1993 é de 15 metros entre o poço e a fossa, o que visa reduzir problemas de contaminação das águas (ABNT, 1993).

Acerca disso, a desativação incorreta dos poços também é considerada um fator de contaminação ambiental dos aquíferos, tendo em vista que a abertura existente pode escoar os contaminantes para o manancial subterrâneo, poluindo assim aquela região. O processo correto para desativar um poço artesiano é vedar as vias de entrada dos poluentes, conhecido também como tamponamento. O tamponamento impede que nos períodos de chuvas intensas o escoamento superficial entre pela entrada da tubulação e escoe até o aquífero, provocando assim a contaminação direta. Sabe-se ainda que é previsto por lei que o processo de desativação dos poços subterrâneos seja informado aos órgãos competentes (IRITANI; EZAKI, 2008).

Neste cenário, torna-se de grande relevância compreender como vem acontecendo as instalações dos poços, tendo em vista que os rejeitos despejados nas fossas rudimentares podem estar em contato com os mananciais subterrâneos, ocasionando assim a contaminação dos mesmos, colocando em risco à saúde das pessoas que fazem uso desse recurso.

3.4 Doenças de veiculação hídrica

A água pode servir de veículo para um elevado número de enfermidades e essa transmissão pode acontecer através de diversos mecanismos. O meio de transmissão de doenças mais habitualmente lembrado e diretamente relacionado à qualidade da água é o da ingestão, por meio do qual um indivíduo sadio consome água que contenha componente prejudicial à saúde e a presença desse componente no organismo ocasiona o aparecimento da doença. (BRASIL, 2006). De acordo com Pecora (2010) as doenças mais graves transmissíveis pela água são a gastroenterite, a disenteria, a hepatite A, a cólera e a febre tifoide.

Acerca disso, Ayach *et al.* frisa: “[...] que cerca de 80% de todas as doenças humanas estejam relacionadas, direta ou indiretamente, à água não tratada, saneamento precário e falta de conhecimentos e informações básicas de higiene e dos mecanismos das doenças” (2009, p. 7). Quase 90 % dos cerca de quatro bilhões de episódios anuais de diarreia em todo o mundo, são atribuídos a carências no esgotamento sanitário e no fornecimento de água de boa qualidade. Tal doença causa 1,5 milhões de mortes ao ano em crianças menores de cinco anos. No entanto, sabe-se que é possível prevenir até 94 % dos casos de diarreia (WHO / UNICEF, 2006).

Estudos do instituto Trata Brasil evidenciam que a ausência de saneamento básico influencia no agravamento dos índices de doenças de veiculação hídrica. O mesmo estudo ainda demonstra que na região Norte foi 42,3 mil internações por doenças de veiculação hídrica no ano de 2019. No mesmo período, as doenças de veiculação hídrica foram responsáveis por 273.403 internações e 2.734 casos de mortes no Brasil (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2019). Mesquita et al (2014) afirma que “tal fato está relacionado aos precários serviços de saneamento básico, de maneira que o consumo de água contaminada por agentes microbiológicos ou físico-químicos se apresentam como os principais difusores de doenças de veiculação hídrica”.

3.5 Leis e normas de padrão de potabilidade da água para consumo humano

Com o passar dos anos e o aumento da poluição ambiental ocasionou uma série de discussões sobre as possíveis consequências dessa degradação, principalmente no que diz respeito à contaminação das águas para consumo humano e abastecimento. Considera-se como água potável aquela sem nenhum tipo de alteração física, química e biológica em suas características e que não ofereça riscos à saúde humana após a sua ingestão. Ressalta-se ainda que a água para consumo deva atender as especificações contidas na legislação quanto à potabilidade da mesma, principalmente no que diz respeito à qualidade da água (VIEIRA, 2006).

Levando em consideração que o controle e a prevenção da poluição estão inteiramente relacionados aos usos e classes de qualidade de água exigidos para um determinado corpo hídrico subterrâneo, a Resolução nº 396/2008 do CONAMA, em seu Art. 3º, classifica as águas subterrâneas nas seguintes classes:

Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porções desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial; Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais; Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais; Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com

alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais; Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso (CONAMA, 2008, p. 66).

Assim como a resolução Conama, tem-se a Portaria de Consolidação nº 888/2021, que vem auxiliar na proteção e conservação das águas para consumo humano, estabelecendo ainda que a água potável é aquela destinada para uso humano, como para consumo, preparação e produção de alimentos, assim como para higiene pessoal (BRASIL, 2021). Nesta mesma portaria encontram-se os parâmetros de potabilidade da água, os quais as águas destinadas ao consumo humano devem seguir, levando em consideração os limites máximos permitidos dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, sendo de grande importância a inexistência de patógenos e bactérias que podem ocasionar a contaminação desse recurso e oferecer riscos à saúde humana (BRASIL, 2021).

Sobre a potabilidade da água para consumo humano a Consolidação nº 888/2021 salienta que a água deve atender os parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos, para que então receba o grau de consideração como potável, não oferecendo assim riscos para a saúde humana (BRASIL, 2021). O estudo de Viana *et al.* (2007) pontua que a potabilidade diz respeito ao atendimento de padrões dispostos em normas e legislações sanitárias, especialmente os requisitos referentes aos riscos à saúde humana. Brasil (2021) reitera a necessidade de a água para consumo ser livre de quaisquer substâncias que podem comprometer as suas características físicas, químicas, organolépticas, sensoriais e biológicas.

3.6 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade da água

A representação da qualidade da água pode ser feita através de vários parâmetros que demonstram suas características físicas, químicas e microbiológicas, e segundo Heller e De Pádua (2010) os parâmetros a serem monitorados dependem do objetivo do trabalho que está sendo desenvolvido. A natureza deste estudo exige a investigação quanto aos parâmetros microbiológicos tendo como principais indicadores coliformes totais e *Escherichia coli*, e

como auxiliares objetivando maior eficácia nos resultados da pesquisa, e de acordo com as possibilidades, alguns parâmetros físico-químicos, sendo: Turbidez, Condutividade Elétrica e Potencial Hidrôgenionico (pH).

3.6.1 Turbidez

A turbidez da água ocorre devido à presença de materiais sólidos em suspensão, que reduzem a sua transparência. Pode ser provocada também pela presença de partículas variadas: argila, areia e silte, resultantes do processo natural de erosão ou matéria orgânica de despejos domésticos e industriais. Água com turbidez elevada, e dependendo de sua natureza, forma flocos pesados que decantam mais rapidamente do que água com baixa turbidez. A turbidez infere a concentração de partículas suspensas na água obtida por meio da passagem de um feixe de luz através da amostra, sendo esta expressa por meio de unidades de turbidez (uT), que também são denominadas de unidades nefelométricas de turbidez (UNT) (LIBÂNIO, 2016).

A determinação da turbidez é um fator importante na avaliação da qualidade de água, pois o solo brasileiro é considerado um solo erosivo em consequência disso a turbidez se torna elevada, devido às precipitações de partículas. (LIBÂNIO, 2010)

A Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde estabelece o Valor Máximo Permitido de 1,0 uT para água subterrânea pós filtração ou pré-desinfecção em 95% das amostras (BRASIL, 2021). A turbidez é medida através de um aparelho chamado turbidímetro.

3.6.2 Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica é indicativa da capacidade de uma água natural transmitir corrente elétrica de acordo com a presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions, sendo assim diretamente proporcional a concentração iônica. Esta é expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microSiemens) (LIBÂNIO, 2016).

A legislação não estabelece valor máximo para CE, no entanto as águas doces apresentam variação da condutividade entre 10 a 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (microSiemens) (BRASIL, 2006). Embora não faça parte dos parâmetros de monitoramento do padrão de potabilidade brasileiro, Libânio (2016) afirma que a CE se constitui importante indicativo do lançamento de efluentes por se relacionar a concentração de sólidos totais dissolvidos (STD).

3.6.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH), traduz a medida da quantidade do íon hidrogênio (H^+) no seio de uma solução. Aderiu-se a utilização da escala anti logarítmica devido a baixas concentrações do íon hidrogênio nas soluções, assim, para evitar o uso de valores com potências negativas de 10 (VOGEL, 2002). Dessa forma, o pH das soluções encontram-se entre a faixa de 0 a 14. Sendo compreendidas como soluções ácidas, soluções com valores de $pH < 7$, neutras, soluções com valores de $pH = 7$ e básicas, com valores de $pH > 7$ (DA CRUZ NETO, 2016). A forma como vários compostos químicos se apresentam, sendo de forma livre ou ionizada, e a variação do grau de solubilidade dessas substâncias deve-se a influência do valor de pH. Acerca dos impactos da ingestão de água com pH ácido para a saúde, Da Cruz Neto afirma que:

O pH ideal para o sangue humano é 7,4 (levemente alcalino), para que absorva bem e armazene na medula óssea os minerais necessários à saúde e permaneça livre da acidez e suas complicações. Todo e qualquer alimento sólido ou líquido que venha prejudicar o equilíbrio do pH ideal, estará comprometendo a saúde do organismo. O pH do sangue humano está inteiramente relacionado à saúde. Uma pequena variação do pH a menor reduz o sistema imunológico, dando oportunidade para que seres prejudiciais à saúde como vírus, bactérias e fungos, aqueles que vivem em meios ácidos com pH abaixo de 7,0, que são os mais nocivos, encontrem ambiente propício para viver e reproduzir (DA CRUZ NETO, 2016, p. 4).

A variação do pH pode ser relacionada a dissolução de rochas, despejos industriais ou domésticos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006). Deste modo, para águas de abastecimento, estabeleceu-se pela Portaria de Consolidação nº 888, de 04 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, valores máximos para pH a 25 °C na faixa de 6,0 a 9,5 (BRASIL, 2021).

3.6.4 Coliformes Totais e *Escherichia coli*

Os coliformes totais habitam normalmente o trato intestinal humano, e quando sua presença é detectada nas águas subterrâneas há um indicativo de contaminação de origem fecal. O fato de as bactérias do grupo coliforme servirem de indicadores microbiológicos, segundo Libânio (2016), deve-se à elevada quantidade excretada por um indivíduo

diariamente, chegando a até 1/3 do peso das fezes, e em vista disso se apresentarem em elevadas concentrações nos esgotos domésticos.

Outro grupo de bactérias, nomeadas de termotolerantes, tem como principal representante a *Escherichia coli*, e são denominadas assim pela sua capacidade de fermentar a lactose em temperaturas elevadas em um período de 24h (LIBÂNIO, 2016).

A espécie *E. coli* são bactérias gram-negativas de forma aproximadamente elíptica, com dimensão de 0,5 por 2,5 μm , que se diferenciam dos demais coliformes termotolerantes pela capacidade de produzir a enzima β -glucorinidase. [...] Desta forma, a *E. coli* vem constituindo-se no indicador de origem fecal mais extensivamente empregado no planeta (LIBÂNIO, 2016, p. 94).

Para que esses microrganismos sobrevivam fora do intestino humano, devem existir condições físico-químicas ideais, tais como: temperatura, pH, umidade, quantidade de nutrientes e etc., que são os principais fatores que afetam a sobrevivência dos microrganismos fecais. Para o sucesso e sobrevivência dos microrganismos, é considerado como pH ótimo aquele na faixa de 4,4 a 9 e temperaturas de até 50°C para Coliformes totais; e pH ótimo entre 6,5 a 7,5 e temperaturas ideal de 37°C para o gênero *Escherichia Coli* (SÁ, 2012).

A Portaria de Consolidação nº 888/2021, que trata sobre os parâmetros de potabilidade da água, aponta que sobre os parâmetros microbiológicos a água para consumo deve ser livre da presença de *Escherichia coli* ou coliformes totais em um volume de 100 ml, assim como após o seu tratamento a água deve ser livre de coliformes totais em volume de 100 ml.

Para Pletsh *et al.* (2021, p. 206) “É importante que os usuários conheçam se a água subterrânea consumida apresenta qualidade microbiológica que permita seu uso seguro ou se existe risco à saúde pública devido à presença de microrganismos patogênicos.”

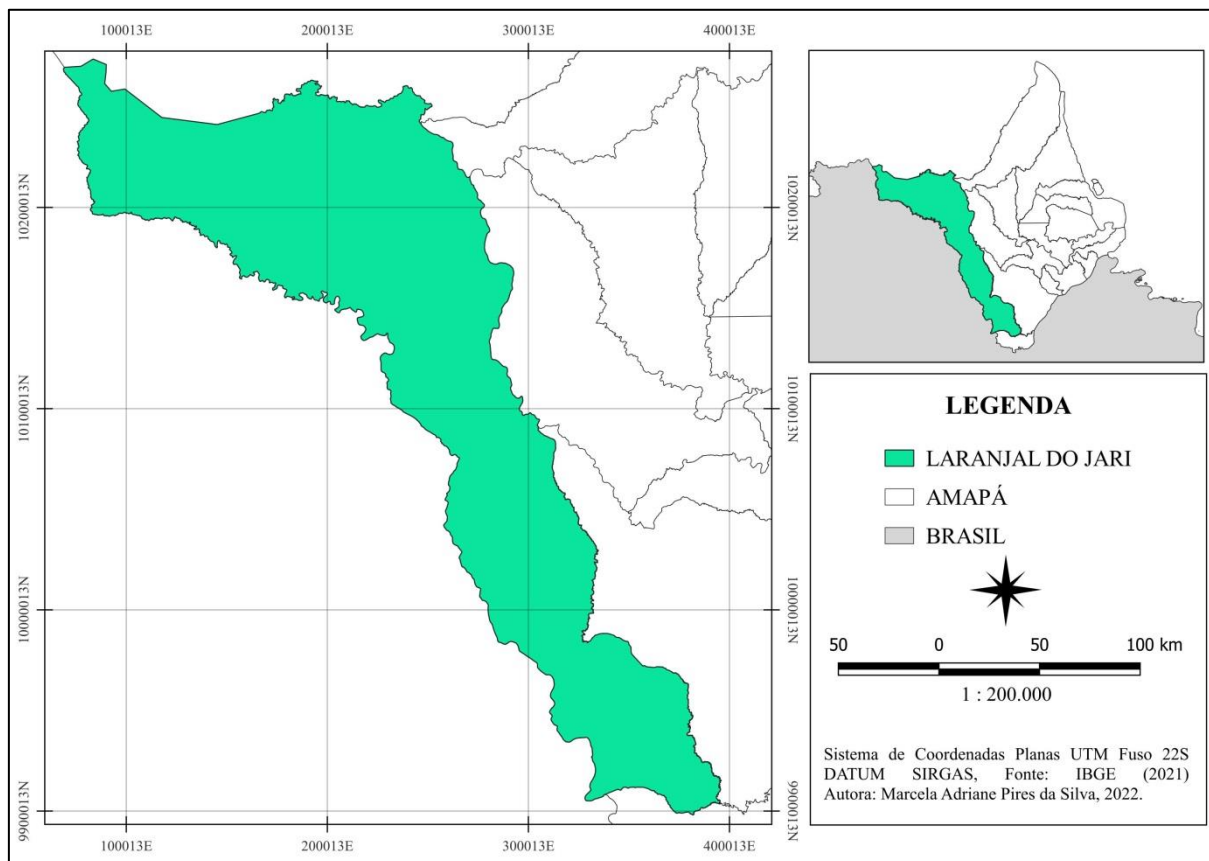
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Descrição da área de estudo

O município de Laranjal do Jari está inserido na região sul do estado do Amapá (Figura 3), situado a 15 metros de altitude (Latitude: 0° 49' 56" Sul, Longitude: 52° 24' 37" Oeste), e faz divisa com estado do Pará, mais especificamente com Monte Dourado, distrito

do município de Almeirim (PA). Também faz limite com os municípios de Vitória do Jari, Mazagão, Pedra Branca do Amapari e Oiapoque, e ainda possui fronteira com os países Suriname e Guiana Francesa pela imensidão geográfica (BRASIL, 2022).

Figura 3 – Mapa de localização geográfica do município de Laranjal do Jari.



Elaborado pela Autora, 2022.

Laranjal do Jari se caracteriza como o maior município em extensão do estado contando com uma área de 30.738 km², e o terceiro mais populoso, com uma população de aproximadamente 60 mil habitantes (IBGE, 2021).

Conforme a metodologia de Köppen o clima predominante da região é o tropical (Ama) com temperatura do mês mais frio superior a 18°C e do mês mais quente superior a 22°C (SOBRINHO *et al.*, 2012). Os índices médios mensais e anuais de temperatura apresentam uma baixa amplitude térmica, típica da região amazônica, com uma variação entre 24,4°C a 28,2°C. A pluviometria total acumulada da região é elevada e apresenta valores compreendidos entre 1998,2mm a 2347,7mm (CLIMA TEMPO, 2022).

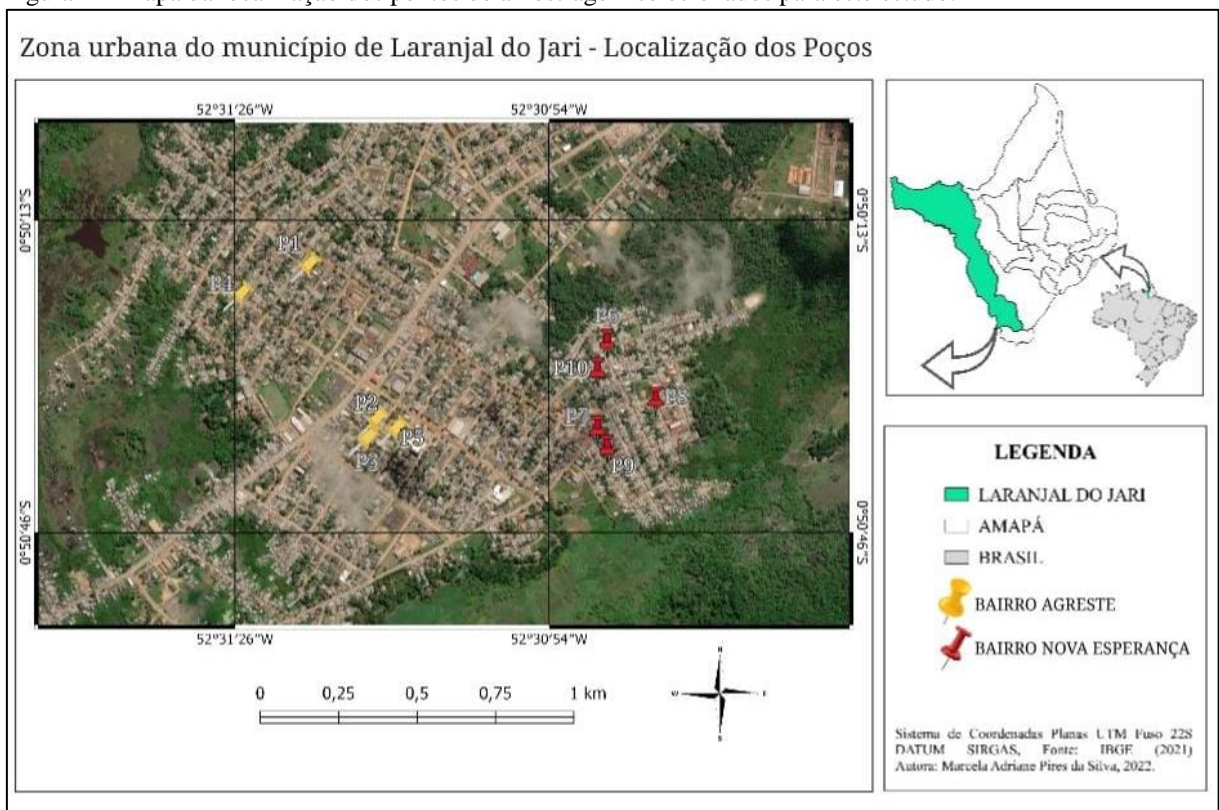
A cidade de Laranjal do Jari é caracterizada por um clima quente e úmido, onde os gradientes de temperaturas são bastante pequenos, em geral, tem-se o “período seco” (de julho

a outubro) e o “período chuvoso” (de dezembro a maio) período onde ocorre a elevação do nível do rio e possíveis transbordamentos, sendo os meses de junho e novembro, os períodos de transição (ANANIAS, 2010).

4.2 Localização dos pontos de coleta

Para amostragem foram selecionados dez poços de propriedades particulares localizados nos bairros Agreste e Nova Esperança no município de Laranjal do Jari, AP (Figura 4). A delimitação desses dois bairros se deu por motivos de localização e acessibilidade às residências para coleta de dados. Para a identificação dos poços foi usada a abreviação P1 para o primeiro poço amostrado, P2 para o segundo poço amostrado e assim sucessivamente. Os pontos de coleta foram previamente selecionados, sendo os poços P1, P2, P3, P4 e P5 localizados no bairro Agreste, e os poços P6, P7, P8, P9 e P10 no bairro Nova Esperança (Figura 4).

Figura 4 – Mapa da localização dos pontos de amostragem selecionados para este estudo.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

4.3 Instrumentos de coleta de dados

Os dados foram coletados a partir de visita de campo em cada um dos 10 pontos selecionados, sendo mediante autorização documentada e assinada pelos proprietários das residências (APÊNDICE A).

Cabe ressaltar que só foi realizada uma coleta de água em cada ponto para análise de cada parâmetro, porém de acordo com a legislação deve haver um monitoramento periódico da qualidade das águas utilizadas para consumo humano. Com isso este trabalho tem por finalidade servir de base para possíveis pesquisas futuras.

Os parâmetros microbiológicos e físico-químicos analisados foram coliformes totais e *Escherichia coli*, pH, turbidez e condutividade elétrica respectivamente. Apesar de a legislação vigente sugerir análises de vários outros parâmetros físico-químicos para o monitoramento de águas subterrâneas, só foi possível analisar os parâmetros supracitados devido à limitação de recursos para execução do estudo.

4.3.1 Coleta das amostras de água

As coletas das amostras de água foram feitas *in loco* no dia 17 de setembro de 2022, das 18h00min às 20h00min, nos dez pontos selecionados, onde foram coletadas amostras para análises físico-químicas e microbiológicas. O material para a coleta das amostras destinadas a análises microbiológicas foi fornecido pelo laboratório, contendo frascos de plástico devidamente higienizado, esterilizados em autoclave a 121°C e lacrados, bem como também fichas e etiquetas para identificação, luvas e caixa térmica. Cada amostra foi devidamente identificada com número de registro do ponto de coleta, nome do proprietário, endereço, nome do responsável pelas coletas, data e hora.

Posterior à coleta em cada frasco as amostras para análises microbiológicas foram imediatamente lacradas, acondicionadas e refrigeradas em caixa térmica e foram transportados logo em seguida para a cidade de Macapá, capital do estado, para o laboratório Análises – Controle de Qualidade Ltda. O laboratório responsável pelas análises microbiológicas realizou análise de caráter qualitativo (presença ou ausência) para os parâmetros microbiológicos: Coliformes totais e *Escherichia coli*.

As amostras para análises físico-químicas foram coletadas em frascos de polietileno e encaminhadas para o laboratório de química do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do

Amapá, *campus* Laranjal do Jari onde foram verificados os parâmetros: Turbidez, Condutividade elétrica e Potencial Hidrogeniônico (pH).

As coletas foram feitas seguindo todas as recomendações do Manual de Análise da Água da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2013), que especifica as seguintes etapas a serem seguidas para coletas em residências:

- a) lavar as mãos com água e sabão;
- b) limpar a torneira do usuário com um pedaço de algodão embebido em álcool, 70% e/ou hipoclorito de sódio 100mg/L;
- c) abrir a torneira e deixar escorrer a água durante um ou dois minutos;
- d) coletar a amostra de água;
- e) encher com pelo menos 3/4 de seu volume;
- f) tampar o frasco, identificá-lo, anotando endereço, hora, e nome do coletor, etc;
- g) marcar o frasco com o número da amostra, correspondente ao ponto de coleta;
- h) preencher a ficha de identificação da amostra de água;
- i) colocar o frasco da amostra na caixa de isopor com gelo;
- j) lacrar, identificar e enviar a caixa para o laboratório.

4.3.2 Métodos para análises Físico-químicas e Microbiológicas

As análises físico-químicas e microbiológicas realizadas, bem como suas unidades de medição e as referidas metodologias estão apresentadas abaixo:

- Turbidez: medida através do Método Nefelométrico utilizando Turbidímetro de bancada AP 2000 WT IP 67 da marca PoliControl® (Figura 5), o qual foi previamente calibrado com soluções de formazina, seguindo o manual de instruções do fabricante. Transferiu-se 25 ml da amostra para uma cubeta, de maneira suave para evitar o aparecimento de bolhas, em seguida inseriu-se a cubeta no turbidímetro para a realização da leitura. Após estabilização o valor foi anotado. Entre a leitura de cada amostra a cubeta foi devidamente lavada para evitar contaminações.

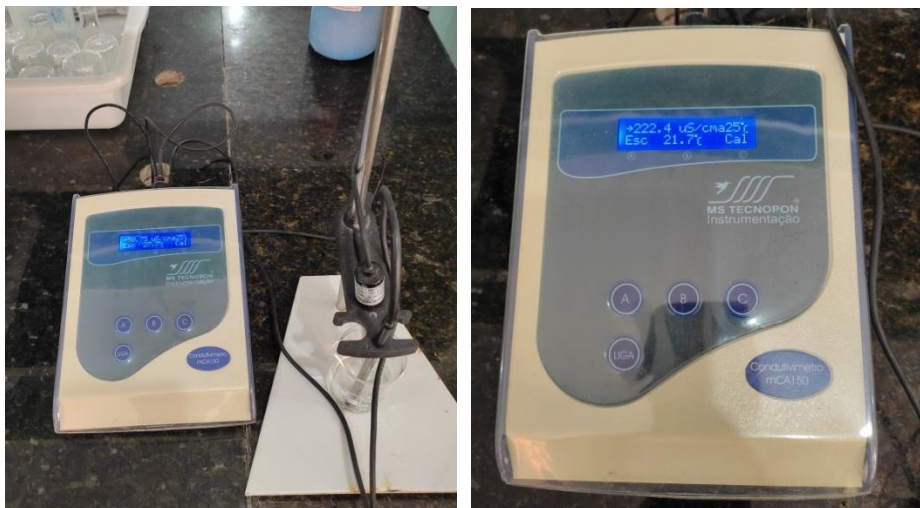
Figura 5: Turbidímetro de bancada.



Fonte: Autora, 2022.

- Condutividade Elétrica: medida por meio do condutivímetro de bancada mCA 150 da marca MS TECNOPON® (Figura 6). Inseriu-se a sonda de medição, previamente lavada com água destilada e seca com papel macio, foi imerso em um béquer de 50 ml com a amostra homogeneizada e após a estabilização o valor foi anotado.

Figura 6: Condutivímetro.

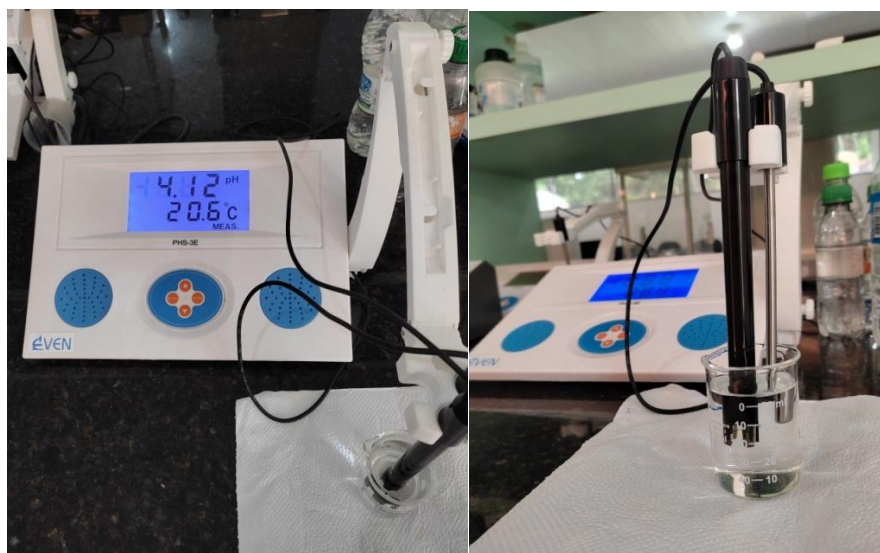


Fonte: Autora, 2022.

- Potencial Hidrognênico (pH): medido através do medidor de pH PHS-3E da marca EVEN® (Figura 7) de acordo com o manual de instruções do fabricante. O equipamento foi previamente calibrado com as soluções tampão pH 4,00 e 7,00. O

eletrodo, previamente lavado com água destilada e seco com papel macio, foi imerso em um béquer de 50 mL com a amostra homogeneizada. A leitura foi realizada após estabilização do eletrodo e o valor anotado. Entre cada leitura realizou-se a lavagem do eletrodo com água destilada para evitar possíveis contaminações.

Figura 7: Medidor de pH.



Fonte: Autora, 2022.

- Coliformes totais e *Escherichia coli*: para determinação dos parâmetros microbiológicos deste estudo foi utilizado o método do substrato cromogênico e fluorogênico desenvolvido para detecção simultânea de presença ou ausência de Coliformes totais e *Escherichia coli* em 100ml de água (COLItest®). O meio de cultura COLItest® possui em sua formulação substâncias, nutrientes e MUG que devidamente balanceados inibem o crescimento de bactérias Gram-positivas, favorecem o crescimento de bactérias do grupo coliforme e facilitam a detecção de *E. coli* através da fluorescência e indol. Como resultado desta reação, há a formação de coloração amarelada, indicando a presença de coliformes totais, e de fluorescência indicando a presença de *Escherichia coli*, na presença de luz ultravioleta a 365 nm (APHA, 2012).

Para maior confiabilidade dos dados, todos os ensaios físico-químicos foram realizados em triplicata e calculados a média dos valores obtidos. A metodologia utilizada para todos os procedimentos foi de acordo com as descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017).

4.3.3 Coleta de dados da infraestrutura dos poços

Foi feita uma entrevista estruturada por meio de formulários impressos (APÊNDICE B) com os moradores das propriedades, mediante visitas previamente agendadas e autorizadas formalmente (através do termo de consentimento) onde foram registrados o número de moradores e as características dos poços, tais como: profundidade e diâmetros (para determinar o tipo de poço: artesianos ou semiartesianos), se são registrados e autorizados legalmente, tempo que está em uso e se existem monitoramentos periódicos de sua qualidade (quais os resultados das últimas análises feitas se houver), destinação desse recurso (para consumo humano ou outros fins), se existem métodos de tratamento e quais são eles.

Foram investigadas as seguintes características das fossas utilizadas nas propriedades também por meio da aplicação de questionários aos mesmos moradores: número de fossas; se existia alguma desativada; se possui revestimento ou não; profundidade em metros e há quantos anos em média a fossa foi construída. A obtenção de algumas informações foi limitada devido à impossibilidade de resposta de alguns moradores a respeito da profundidade, revestimento e idade da fossa, pelo fato de ainda não residirem na propriedade quando as fossas foram construídas.

4.3.4 Coleta de informações da distância poço-fossa

Os dados a respeito da distância entre a fossa e o poço foram adquiridos através de imagens de satélite, onde foram marcados os pontos das coordenadas presencialmente entre os poços e as fossas e calculado a distância em linha reta em metros no aplicativo Google Earth Pro®. Foram medidas tanto as distâncias do poço à fossa da propriedade quanto às fossas das residências vizinhas mais próximas, preferencialmente da direita e da esquerda, exceto aquelas em que os entrevistados não souberam informar a localização das fossas de seus vizinhos, pois obtivemos acesso apenas às residências principais, coletando posições das fossas vizinhas a partir de informações secundárias. O método de medição por imagens de satélites através do Google Earth Pro® foi selecionado pela praticidade na obtenção dos dados, visto que poderiam existir alguns obstáculos que impediriam o êxito na medição exata em linha reta entre um ponto e outro.

4.4 Análise de dados

Para avaliar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água de poços foi considerado neste estudo o critério de potabilidade segundo a norma de qualidade da água do Ministério da Saúde, a portaria nº 888/2021 (BRASIL, 2021). Para análises dos resultados obtidos foi elaborada uma tabela onde constam os dados obtidos nas análises laboratoriais, e os limites estabelecidos na legislação a respeito dos padrões de potabilidade. Então, posteriormente, elaborado um gráfico de barras, para que cada parâmetro pudesse ser analisado individualmente.

Para avaliar os dados de infraestrutura dos poços foram feitas tabelas com as principais informações quali-quantitativas de poços obtidas através do formulário.

Para verificar se existe relação entre as variáveis que apresentaram alteração da qualidade da água e profundidade do poço (PP) e distância dos poços as fossas presentes no entorno (distância da própria fossa - DF1, distância da fossa direita - DF2 e fossa esquerda - DF3), foi produzida uma análise multivariada denominada *Principal Component Analysis* (PCA) (Análise de Componentes Principais), usada para analisar relações entre um grande número de variáveis, reduzindo-as a uma dimensão (componentes) com menor perda possível de informação. A PCA faz uso de métodos estatísticos em amostras com uma grande quantidade de dados (multivariados), utilizam técnicas exploratórias de sintetização da estrutura de variabilidade dos dados (MINGOTI, 2005). Além disso, a análise multivariada foi usada para uma avaliação mais completa dos dados originais, possibilitando uma extração máxima de informações para melhor interpretar e evidenciar possíveis correlações entre amostras e variáveis.

A PCA foi produzida por meio de uma matriz de correlação obtida das variáveis quantitativas dos parâmetros físico-químicos da água analisados e fatores de influência na qualidade por meio da padronização de todos os dados. Através de software estatístico de análise multivariada, utilizou-se o processamento auto escale com duas componentes principais para os poços residenciais, utilizando os descritores de turbidez, condutividade elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH), distância da própria fossa (DF1), distância da fossa direita (DF2), distância da fossa esquerda (DF3) e profundidade do poço (PP) dos respectivos pontos analisados. Todas as análises e gráficos foram produzidos no Software PAST 4.0 (HAMMER *et al.*, 2001).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos obtidos através das análises laboratoriais das amostras de água coletadas nos dez poços residenciais selecionados, bem como os limites estabelecidos na Portaria de Consolidação nº 888/2021 para cada parâmetro estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Resultados das análises laboratoriais para parâmetros físico-químicos e microbiológicos. CT – Coliformes totais. EC – *Escherichia coli*. PH – Potencial Hidrogeniônico. CE – Condutividade elétrica. *Limite ultrapassado

POÇO	CT	EC	PH	CE	Turbidez
P1	Ausente	Ausente	4,2*	219.9	*1,62 uT
P2	Ausente	Ausente	3,8*	224.3	0,15 uT
P3	Ausente	Ausente	4,2*	133.1	*2,01 uT
P4	Ausente	Ausente	3,9*	442.4	*2,16 uT
P5	Ausente	Ausente	4,1*	180.5	0,33 uT
P6	Ausente	Ausente	4,2*	136.5	*1,65 uT
P7	Ausente	Ausente	3,9*	222.4	0,70 uT
P8	Ausente	Ausente	3,8*	199.8	0,33 uT
P9	Ausente	Ausente	4,0*	332.4	0,68 uT
P10	Ausente	Ausente	3,8*	325.5	0,61 uT
Portaria nº 888/21	Ausência em 100 ml	Ausência em 100 ml	6,0 – 9,5	-	1,0 uT

Elaborado pela autora, 2022.

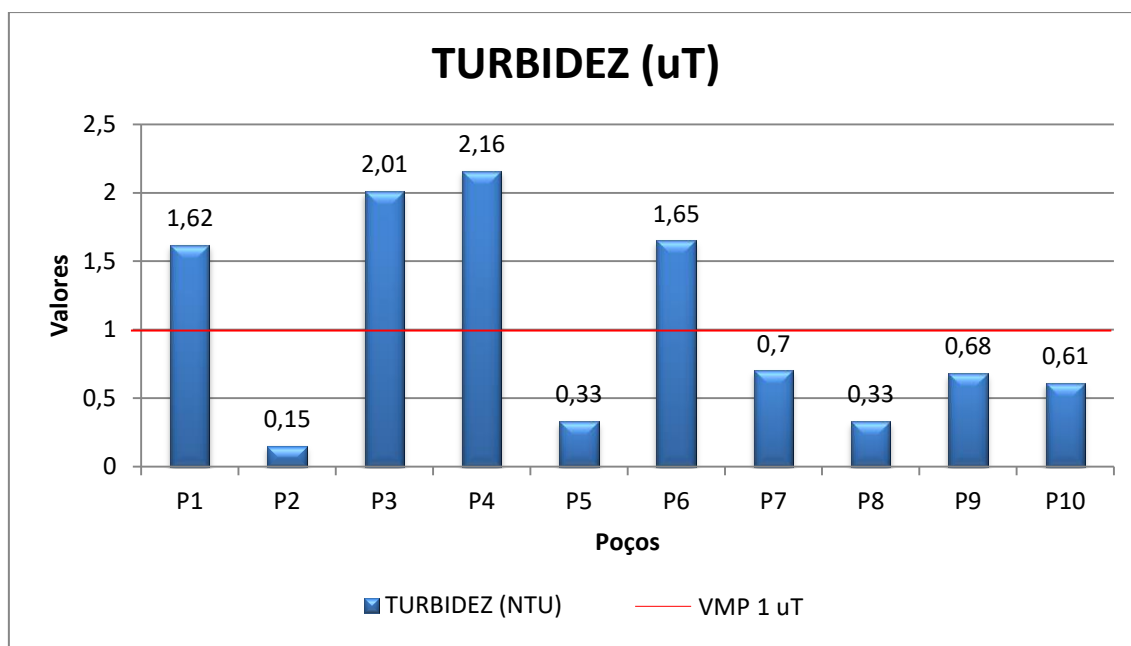
O P1 já passou por avaliações de sua qualidade físico-química, segundo afirmou o proprietário, onde em todos seus diagnósticos resultaram na não potabilidade da água, sendo a última realizada a oito meses da elaboração deste estudo, apresentando alguns valores semelhantes aos constatados nessa pesquisa, com turbidez em 4,22; pH 3,48; condutividade elétrica 277,0 e a presença de alumínio em todas as análises solicitadas pelo proprietário. Para o P2, o entrevistado informou já haver realizado também o envio para análise há mais ou menos um ano, e os resultados definiram a água como potável, o que vai de encontro com o averiguado nessa pesquisa, visto que o P2 obteve um dos valores mais baixos para pH, caracterizando a água como ácida. O proprietário do P10 afirmou também já ter enviado amostras de sua água para análises laboratoriais, afirmando haver pH ácido (3,9) e a presença de alumínio.

5.1 Análises individuais dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos

5.1.1 Turbidez

A turbidez é provocada por partículas em suspensão, sendo assim, reduzida quando ocorre a sedimentação (FUNASA, 2014). De acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 888/21, para águas subterrâneas, o padrão de turbidez deve ser de até 1,0 UT em 95% das amostras e entre os cinco por cento permitidos que sejam superiores, o limite máximo deve ser de 5,0uT (Figura 8).

Figura 8 – Valores para Turbidez obtidos através das análises.



Elaborado pela Autora, 2022.

É possível observar, que 40% dos poços analisados apresentaram não conformidade com o valor máximo permitido (VMP) da legislação (<1 UT), com turbidez acima do limite estabelecido, não sendo indicado seu uso para consumo, conforme apresenta a Figura 8. As amostras dos poços P4, P3, P6 e P1 tiveram os maiores valores para turbidez respectivamente, excedendo o limite, com destaque ao ponto P4 (Figura 8), cujo valor foi 2,16 uT. Diversos fatores podem influenciar no aumento da turbidez das águas subterrâneas, como processos erosivos, presença de detritos orgânicos ou de forma antrópica pelo contato com os esgotos domésticos. A turbidez reduz a eficiência da cloração devido ao “efeito escudo” atribuída aos

microrganismos patogênicos, impedindo a ação da desinfecção. Por representar um parâmetro estético, as amostras analisadas nesta pesquisa revelaram pequenas variâncias nos pontos analisados, predominando os maiores valores de turbidez nos poços do bairro agreste (BRASIL, 2014).

Tal fato pode ter ocorrido devido à proximidade com áreas que sofrem com inundações, o que pode ter causado o aumento de partículas suspensas na água. Este fato evidencia que pontos de alagamento tendem a potencializar a turbidez das águas subterrâneas no período seco, possivelmente pelo aumento da concentração e menor volume de água disponível (GROTT, 2018). O menor valor apresentado foi para o poço P2, com 0,15 uT, localizado também no bairro agreste, porém em áreas mais planas e longe de áreas de ressaca.

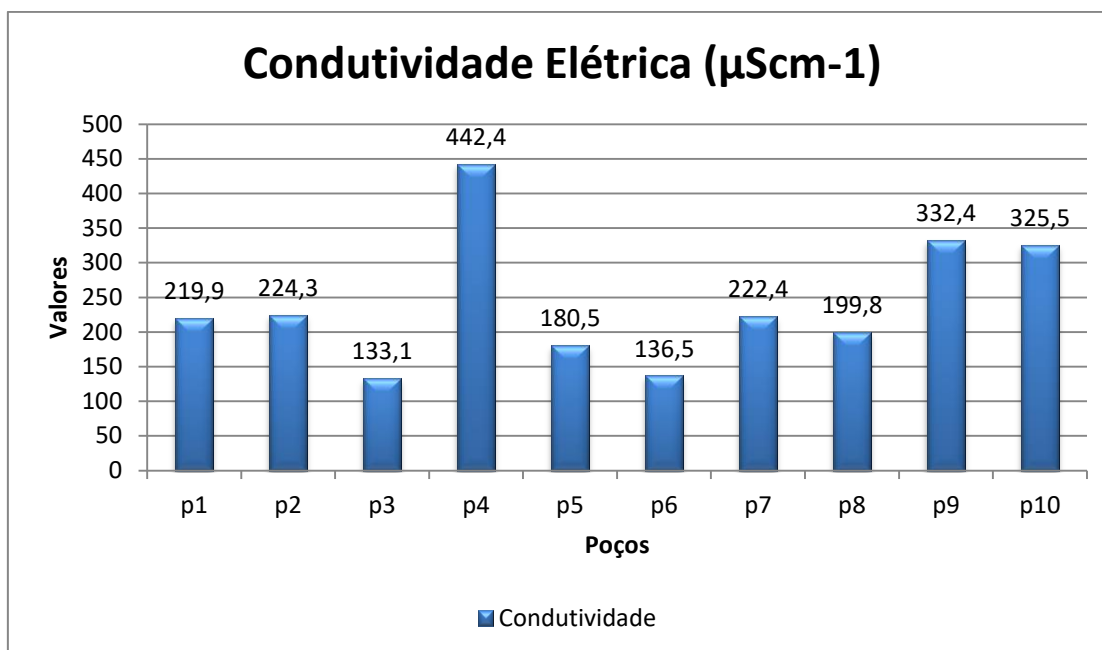
Os resultados foram semelhantes aos encontrados por Grott (2018) em seu estudo na cidade de Macapá – AP, onde constatou que no comparativo intrassazonal, as amostras evidenciaram paradoxalmente águas subterrâneas com maior turbidez no período seco. O que confirma que a turbidez tende a aumentar no período de estiagem, e diminuir no período de chuvas.

5.1.2 Condutividade elétrica (CE)

A condutividade elétrica indica a capacidade da água natural de transmitir a corrente elétrica em função da presença de íons dissolvidos, carregados eletricamente. Quanto maior a quantidade de íons, maior a condutividade. Este parâmetro vincula-se ao teor de salinidade, característica relevante para águas subterrâneas. Não existe um limite máximo na legislação referente à potabilidade da água. No entanto, Libânio (2016) frisa que águas naturais apresentam usualmente condutividade elétrica inferior a 100 uS/cm, e podem atingir até 1000 uS/cm para corpos receptores de elevadas cargas de efluentes domésticos.

Neste estudo, todos os poços analisados apresentaram valores muito elevados, com média de 241,6 μScm^{-1} como pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 – Valores obtidos para Condutividade elétrica



Elaborado pela Autora, 2022.

Os valores tiveram algumas variações significativas entre os pontos, ficando entre 133,1 a 442,4 μScm^{-1} . Tendo como o valor mais alto o P4, visto este ponto também ocupou o primeiro lugar para turbidez, se destacando significativamente, vindo logo abaixo os pontos P9 e P10 com 332,4 e 325,5 respectivamente. O menor valor para condutividade foi para o poço P3 (133,1), no entanto, segundo Gasparotto (2011) resultados que indicam contaminação devido à presença de esgotos, podem variar de 100 a 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Desse modo, por mais que seja o mais baixo ainda assim está excedendo o limite usualmente aceitável como adequado pela literatura de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$. Isso demonstra ação antrópica na alteração da qualidade ambiental dos recursos hídricos locais.

Os valores para condutividade elétrica são semelhantes aos constatados por Chaves et al (2020) onde todas as amostras de água subterrâneas coletadas no bairro Da Paz, município do Parauapebas/PA apresentaram $\text{CE} > 100 \mu\text{S cm}^{-1}$, indicando altos teores de sais dissolvidos ionizados, assim como os valores observados por Laureano et al (2020) em poços de Ji-Paraná no estado de Rondônia, onde obtiveram uma média semelhante a constatada neste estudo de 214,61 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, podendo as mesmas estarem sendo contaminadas decorrentes do despejo de efluentes domésticos, com isso aumentando o grau de salinidade destas águas (SANTOS *et al.*, 2011).

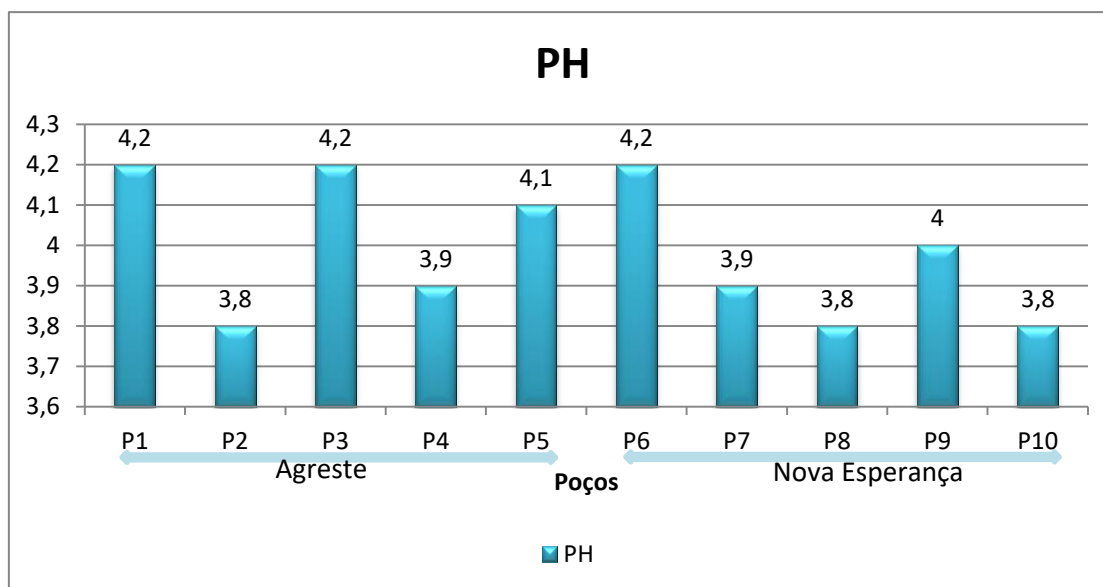
De acordo com Lordelo, Porsani e Borja, (2018) se a água apresenta uma condutividade maior que 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ela é classificada como dificilmente utilizável. Valores

elevados de condutividade elétrica indicam que a água tem sabor desagradável, vindo a causar problemas digestivos.

5.1.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os valores de potencial hidrogeniônico (pH) dos dez poços amostrados apresentaram VMP muito abaixo do mínimo estipulado pela Portaria de Consolidação nº 888/2021 do Ministério da Saúde, a qual recomenda valores de pH na faixa de 6,0 a 9,5. É possível observar na figura 10 que não houve uma variação significativa entre as amostras, porém houve uma separação razoável entre os bairros, prevalecendo com pH mais ácido em maioria poços do bairro Nova Esperança. Desse modo todas as amostras de água estão caracterizadas como ácidas, por apresentarem uma média de 3,9.

Figura 10 – Valores obtidos para o parâmetro pH.



Elaborado pela autora, 2022.

Neste estudo, todas as amostras apresentaram pH abaixo do mínimo recomendado pela legislação de $>6,0$. Nenhuma amostra de água apresentou pH adequado para consumo humano, estando todos os poços caracterizados como ácidos. Os valores mais baixos foram atribuídos aos poços P2, P8 e P10, com 3,8 igualmente. Os mais altos foram nos poços P1, P3 e P6, com valor correspondente a 4,2. No entanto, ainda assim as águas se encontram ácidas e impróprias para o consumo humano.

Os baixos valores de pH podem ser atribuídos a presença de vários fatores. Possivelmente, as alterações de pH ocorreram devido a atividade de organismos no consumo do oxigênio durante as reações com a matéria orgânica gerando um alto teor de gás carbono dissolvido, assim como também pela dissolução de rochas e o contato com despejos domésticos (SILVA et al., 2017). Na mesma perspectiva Carvalho et al. (2015) ressalta que águas subterrâneas que apresentam pH ácido pode ser indício de contaminação dos poços tubulares por fossas e esgotos domésticos.

Segundo NERY et al (2012), há a ocorrência de índices de pH ácido nas águas subterrâneas do bairro Zerão da cidade de Macapá/AP devido as condições sanitárias e a precária proteção dos poços sugerindo possível efeito de poluição. Assim como também os resultados obtidos por Grott (2018) na cidade de Macapá/AP, em todas as amostras de água do período seco, mesmo período de análises deste estudo, o potencial hidrogeniônico (pH) foi inferior ao mínimo estabelecido legalmente ($\text{pH} > 6$), corroborando os resultados encontrados nesta pesquisa que também apontam valores de pH abaixo da faixa recomendada pela portaria do MS, indicando a relativa acidez das águas.

É possível deduzir que devido ao clima tropical da região norte, a degradação da matéria orgânica é mais intensa na fase anaeróbica, favorecendo a produção de ácidos orgânicos e, por conseguinte pH mais ácidos (SILVA et al, 2009).

Do total de 33 pessoas que estão inclusas neste estudo, contando com todos os moradores do quantitativo de residências que esta pesquisa abrange, e embora alguns moradores alegarem não consumirem a água (33,3%), a grande maioria das pessoas (66,7%) está consumindo água não potável em relação a este parâmetro, representando risco a saúde humana.

5.1.4 Coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (EC)

Os coliformes totais e termotolerantes (tendo como principal representante a bactéria EC) são um grupo de microrganismos indicadores de contaminação fecal que possuem capacidade de resistir a altas temperaturas e são predominantes nos intestinos de animais homeotérmicos. De acordo com a PRC N°888/2021, para água de sistemas ou soluções alternativas coletivas para consumo humano deve haver a ausência em 100 ml de coliformes totais e *E. coli* (BRASIL, 2021). Os resultados das análises durante todo o período amostral para os dez poços foram negativos para os parâmetros microbiológicos coliformes totais e *E.*

coli. Ou seja, não foi detectada presença destes microrganismos, como pode ser observado na figura 11.

Figura 11 – Resultado das análises microbiológicas, coloração roxa para ausência em 100 ml.



Fonte: Laboratório Análises – Controle de qualidade Ltda, 2022.

A análise do parâmetro CT é importante porque indica risco de contrair doenças causadas por outros micro-organismos, além da precariedade do sistema de saneamento, haja vista ser este um parâmetro de constatação da contaminação das águas subterrâneas por fossas (SILVA et al., 2014). Assim, todas as amostras estão de acordo com o estabelecido pela legislação e não apresenta risco para a saúde quanto á presença de microrganismos patogênicos, se caracterizando como potável quanto a este parâmetro.

Sá (2012) pontua em seu estudo, que a sobrevivência dos microrganismos de origem fecal fora do intestino é considerada desfavorável, pois depende de vários fatores físico-químicos como pH, sendo o mais favorável na faixa de 6,5 a 8,0, porque é onde ocorre maior degradação do material orgânico, o que vai de encontro com os valores extremamente ácidos de pH constatados na presente pesquisa. A autora cita também que a precipitação é fator determinante, onde precipitações constantes favorecem a sobrevivência desses microrganismos, que independentemente do tipo de solo o baixo fluxo de água vai favorecer o transporte dessas bactérias pelos poros granulares do solo. Assim, mais um ponto em desacordo que pode explicar os resultados obtidos neste estudo, que foi desenvolvido no período da estiagem, com raras precipitações.

Diante do averiguado nas análises e resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos, convém discutir a respeito da necessidade de um monitoramento mais aprofundado com relação aos indicadores microbiológicos, principalmente com análises de variações sazonais, visto que os testes usuais evidenciam contaminação recente, no momento das

coletas, e os resultados físico-químicos obtidos, em sua maioria são um forte indicativo, dentre outros fatores, de contaminação antrópica decorrente do despejo inadequado de efluentes domésticos. Ou seja, resultados negativos das análises, indicam que a qualidade da água atendeu aos padrões de potabilidade somente no momento da coleta da amostra (LIBÂNIO, 2016)

5.2 Condições de infraestrutura dos poços e dados sobre as fossas no entorno

O levantamento das condições de infraestrutura dos poços e sanitárias do entorno deles formou um conjunto de parâmetros que serviram como variáveis explicativas em relação ao uso das águas subterrâneas e sua relação analisada individualmente com qualidade físico-química nos pontos estudados levando em consideração cada parâmetro. Os principais resultados da coleta de informações podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2 – Dados dos poços analisados

POÇOS	Profundidade (m)	Diâmetro (mm)	Idade (anos)
P1	36	100	2
P2	33	100	2
P3	48	100	2
P4	27	100	4
P5	26	100	1
P6	16	100	16
P7	30	100	0,16
P8	17	100	20
P9	25	100	6
P10	18	100	7

Elaborada pela autora, 2022.

A Tabela 2 indica que a profundidade dos poços não é superior a 48 m, sendo o menor com 16 m, com média de 27,06 m, classificados como tipo: semiartesianos. Todos os poços possuem a mesma medida de diâmetro do tubo, de 100 milímetros.

Entre as 10 residências, 6 unidades (60%) utilizam a água de poço para beber. Destas, duas não fazem nenhum tipo de tratamento antes de consumi-la (P3 e P4), representando um risco à saúde principalmente devido a não conformidade com os limites mínimos

estabelecidos para água de consumo humano resultando na elevada acidez averiguada em todas as amostras. Assim como também foram os poços que lideraram os dois primeiros lugares com maiores valores para turbidez (2,16 uT e 2,01 uT), e P4 com o maior valor para condutividade elétrica (442,4 μScm^{-1}), destacando-se significativamente.

Apenas um entrevistado realiza a desinfecção da água com hipoclorito de sódio antes de utilizá-la e três afirmaram que a filtram. Embora não tenha sido constatada a presença de microrganismos patogênicos, a água não está adequada para o consumo devido a elevada acidez, e elevados valores de condutividade elétrica. Os demais (40%) utilizam água mineral para beber e fazem o uso do recurso subterrâneo apenas para atividades domésticas e higiene pessoal. A maioria desses poços não possuem análises de qualidade da água e são construídos sem seguir as normas técnicas brasileiras para perfuração de poços. Na tabela 3, estão apresentadas as informações a respeito das fossas no entorno dos poços.

Tabela 3 – Dados das fossas investigadas nesse estudo. DF1: Distancia da fossa principal; DF2: Distância da fossa direita; DF3: Distancia da fossa esquerda; PF1: Profundidade da fossa principal; (*)=Limite fora do padrão; (**)=Inexistência de dados.

Poço	DF1	DF2	DF3	F1Revestida	PF1
P1	20 m	23 m	25 m	Sim	3 m
P2	22 m	12 m *	12 m *	Não	2 m
P3	27 m	32 m	29 m	Sim	20 m
P4	30 m	**	17 m	Sim	2,5 m
P5	8 m *	10 m *	9 m *	Sim	8 m
P6	19 m	21 m	26 m	Não	2 m
P7	25 m	20 m	36 m	Sim	**
P8	17 m	**	**	Não	**
P9	21 m	19 m	**	Não	1,8 m
P10	17 m	**	**	Sim	**

Elaborado pela Autora, 2022.

Constatou-se que 100% das residências pesquisadas não eram servidas por rede coletora de esgoto, despejando-o em fossas, ressaltando o que havia sido afirmado sobre as condições precárias nos serviços de saneamento básico do município segundo o censo de

2010 (IBGE, 2010). Como mostra a Tabela 3, de dez (10) fossas principais, quatro (4) unidades são do tipo rudimentar: escavações no solo sem revestimento lateral e de fundo, facilitando a percolação do esgoto e dos patógenos no subsolo e a contaminação da água subterrânea. As demais (60%) possuem revestimentos nas laterais e fundos, segundo afirmaram os entrevistados. Com essas características, as vulnerabilidades ambiental e sanitária são potencialmente significativas para 40% das fossas principais investigadas nesse estudo, dada a maior facilidade desses contaminantes alcançarem as águas subterrâneas (LIBÂNIO, 2010).

Do total de 24 fossas com a medição bem sucedida, a grande maioria (79,2%) está em conformidade com o mínimo recomendado, de 15 metros do poço, principalmente as fossas das residências protagonistas nesse estudo, onde 9/10 delas se encontram dentro do padrão estipulado (ABNT, 1993). As 20,8% de fossas fora do padrão, sendo principalmente de residências vizinhas, remetem um potencial risco de interferência nos recursos hídricos subterrâneos, e a capacidade de alteração das características físico-químicas e microbiológicas da água.

Laureano *et al* (2020) em seu estudo sobre a qualidade da água subterrânea de uma microbacia no estado de Rondônia investigou os aspectos hidrossanitários de 15 poços, dentre estes aspectos averiguou a distância do poço em relação a fossa, e constatou que 20% das fossas presentes se encontravam fora do padrão de distanciamento de 15 m recomendado pela NBR 7.229/93.

Mesmo para os dois pontos (P2 e P5) que não se adequaram as medidas ideais de distância para as três medições (DF1, DF2 e DF3) pode-se inferir que a não detecção de contaminação microbiológica explica-se devido à profundidade do poço se encontrar extensa com 33m e 26m respectivamente, levando em consideração que a fossa da propriedade P5 possui revestimento. Assim, se encontrando fora do padrão apenas as fossas vizinhas, tanto da direita quanto da esquerda, não se tendo informação são revestidas ou não. Quanto ao P2, onde as fossas de seus vizinhos da direita, esquerda e trás estavam fora dos padrões, se caracteriza como um dos poços mais profundos deste estudo, o que possibilita maior filtragem da água pelas camadas granulares do solo, visto que os microrganismos medem aproximadamente 2 μ m e são indicativos de contaminação recente (LIBÂNIO, 2016), e pode significar que por mais que não sejam revestidas o tempo que o material levaria para chegar ao nível de coleta do poço já ocorre a inexistência de quaisquer microrganismos patogênicos principalmente devido as características físico-químicas do ambiente, visto que a profundidade do poço é uma característica que pode estar relacionada a qualidade da água,

uma vez que pode reduzir a possibilidade de contaminação por substâncias com baixa mobilidade no solo (CAPP *et al.*, 2012).

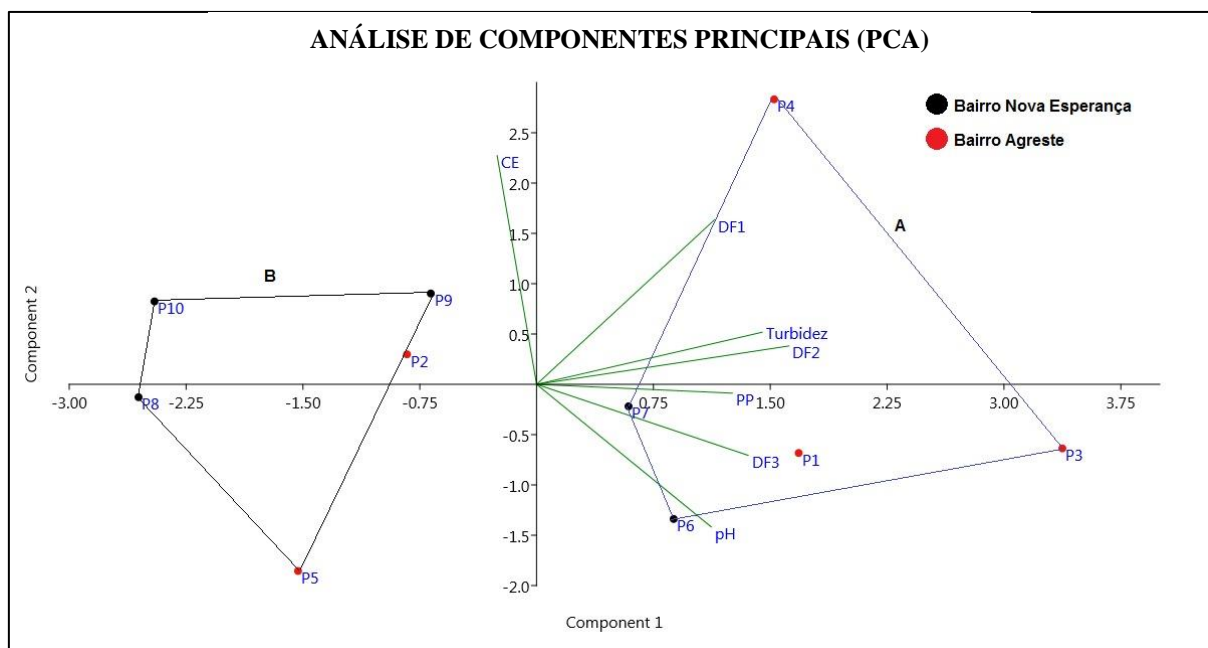
O fato da maioria das fossas principais serem revestidas remete um grande benefício não só em relação à qualidade da água subterrânea como também a qualidade do solo, pois essas 60% de fossas principais adequadas não estão lançando poluentes diretamente no solo. Por mais que o município não possua saneamento básico adequado e nem coleta de esgoto, foi possível constatar que os próprios proprietários estão realizando a logística de sua própria coleta de esgoto.

Por outro lado, os pontos com proximidade das fossas abaixo de 15 metros como é o caso do P2 e P5, é um alerta para os métodos de construção utilizados pelo profissional que construiu os poços, evidenciando a necessidade de informações a respeito dos pedidos de licença e consultas as normas regulamentadoras que norteiam a construção dos poços subterrâneos para evitar a contaminação do aquífero pela falta de saneamento no município e possível ingestão de água com sua qualidade comprometida trazendo assim riscos para a saúde (ABNT, 1993; ABNT, 1992). Averiguou-se que nenhum dos poços analisados são registrados ou possuem licenças (outorgas) mediante os órgãos ambientais competentes do município.

5.3 Correlações dos parâmetros com os fatores de influência na qualidade através da Análise de Componentes Principais (PCA)

As componentes 1 e 2 da PCA produzida com valores de variáveis quantitativas físico-química da água, distâncias do poço para fossa e profundidade do poço, captaram 53,51% e 25,03% da variação total, respectivamente. A Figura 12 permite visualizar a distribuição entre os pontos, a partir dos parâmetros analisados nos poços amostrados, onde, pela dispersão dos dados, é possível notar dois agrupamentos distintos, com exatamente o mesmo quantitativo cada. Assim, para otimização da análise dos resultados obtidos os pontos serão analisados em dois grupos: do lado direito e positivo do eixo horizontal temos o Grupo A contendo os poços P1, P3, P4, P6 e P7 relacionado às análises realizadas em amostras coletadas a maior parte no bairro Agreste (em vermelho) e, no lado esquerdo e negativo do eixo temos o Grupo B contendo os pontos P2, P5, P8, P9 e P10 com a maior parte coletada no bairro Nova Esperança (em preto).

Figura 12 – Análise de Componentes Principais (PCA). CE- Condutividade Elétrica; PH- Potencial Hidrogênionico; PP – Profundidade do Poço; DF1- distância da fossa principal; DF2 – distância da fossa direita; DF3- distância da fossa esquerda.



Elaborado pela Autora, 2022.

A componente 1, o eixo horizontal do gráfico que abrangeu a maior variação das variáveis analisadas (53,51%), mostrou evidente separação entre pontos de coleta nos bairros, estando do lado direito poços com maiores valores tanto das variáveis físico-químicas quanto relacionados aos fatores de influência analisados nesse estudo. Já do lado esquerdo do eixo tenderam os poços com menores valores para 85,7% dos parâmetros analisados, demonstrando uma nítida relação entre eles.

O Grupo A foi caracterizado por poços com maior turbidez, portanto todos os cinco pontos que tenderam ao lado direito e positivo apresentaram os maiores valores observados nesta pesquisa sucessivamente como ilustra a figura 12, onde a ordem segue P4 com 2,16 uT; P3 2,01 uT; P6 com 1,65 uT; P1 com 1,62 uT e o P7 com 0,70 uT. Podemos observar que 80% dos pontos que tenderam ao lado direito do gráfico relacionado ao parâmetro turbidez se apresentaram fora do limite estabelecido pela legislação de <1 uT, evidenciando a não adequação da água captada nesses poços quanto as normas legais vigentes para essa variável. No entanto, a turbidez se apresentou como o único parâmetro que teve tendência não satisfatória para o lado direito, os outros parâmetros apresentaram em sua maioria resultados satisfatórios quanto à qualidade da água e fatores de potencial influência nessa qualidade.

É interessante observar, que os poços mais profundos tiveram relação direta com os valores elevados de turbidez, evidenciando forte relação entre as duas variáveis. A mesma correlação entre aumento da turbidez para poços mais profundos foi observada por Laureano *et al* (2020) através da Análise de Componentes Principais realizada em seu estudo no estado de Rondônia.

Na sequência é possível identificar o segundo grupo (Grupo B), presente no lado esquerdo e negativo do gráfico, contendo com similaridades entre os parâmetros investigados e os fatores de influência na qualidade. Neste lado do eixo, se apresentaram os menores valores para pH, ou seja, águas mais ácidas. A maioria dos pontos que compõem o Grupo B (P2, P8 e P10) possuem os menores valores analisados nessa pesquisa, sendo os valores de 3,8 igualmente para os três poços que representaram essa variável, evidenciando mais um parâmetro insatisfatório presente ao Grupo B.

Diretamente proporcional ao pH podemos observar o comportamento da Condutividade Elétrica, que predominou com maiores valores para os poços do Grupo B, por mais que o maior valor esteja presente no Grupo A (P4), é necessário interpretação da análise como um todo. Portanto, dos cinco maiores valores observados nesse estudo para esse parâmetro, três estão presentes no Grupo B, sendo: P9, P10 e P2 respectivamente. Assim, a PCA evidenciou que, neste estudo, quanto menor o pH, mais alta a CE se apresentou nesses poços e mais baixa a turbidez se apresentou para poços com acidez e condutividade elétrica elevada.

Quanto aos fatores de influência na qualidade da água, utilizados também como variáveis explicativas para dispersão dos pontos, e uma das principais investigações que norteiam este estudo, podemos observar que as variáveis: profundidade e distâncias do poço a fossa (PP, DF1, DF2 e DF3) possuem forte relação entre si. Todas as variáveis relacionadas aos fatores de influência na qualidade apresentaram menores valores pertencentes ao Grupo B. Em relação à profundidade do poço (PP) considerando os cinco menores valores, três deles correspondem ao Grupo B com os pontos P8, P10 e P9 respectivamente, evidenciando que poços com pH ácido e condutividade elétrica elevada se apresentaram como os mais rasos dessa pesquisa.

Com isso, podemos analisar o fator distância das fossas (DF1, DF2 e DF3) ao poço correlacionando-a as demais variáveis. Observando o gráfico, é possível verificar que a maioria dos pontos do Grupo B apresentaram os menores valores de distância. No entanto, dois deles (P5 e P2), lideraram com as menores distâncias (<12m) para as três medições de distâncias realizadas respectivamente. Assim, como já foi supracitado, tais pontos foram os

únicos que se apresentaram abaixo do limite recomendado pela NBR 7.229, de 15 metros do poço para a fossa, distância mínima necessária para garantir a segurança do reservatório subterrâneo e assim uma captação e consumo livres da influência dos compostos presentes nos esgotos domésticos (ABNT, 1993).

Diante do exposto, é necessário tratar sobre o poço P5 individualmente, visto que este ponto possui características que podem explicar seu distanciamento e isolamento dos demais no momento da dispersão dos dados no gráfico da PCA. Partindo do princípio de que o esgoto doméstico possui influencia em alguns parâmetros de qualidade da água, especificamente neste ponto, em parte, não se torna viável essa interferência, visto que, por mais que não se tenha informações a respeito das características de revestimento da F2 e F3, sabe-se que a F1 é revestida, impossibilitando assim que esse fator influencie na qualidade da água.

Portanto, pode-se inferir que poços com profundidades e distanciamentos menores das fossas tendem a apresentar pH mais ácido e condutividade elétrica mais elevada, evidenciando forte relação entre essas variáveis, provavelmente devido ao impacto da falta de saneamento nos parâmetros de qualidade da água subterrânea no município com relação ao despejo de esgoto doméstico diretamente no solo.

Resultados semelhantes aos constatados nesta pesquisa foram observados em estudo desenvolvido sobre a qualidade da água subterrânea na Amazônia Ocidental, através do método da estatística multivariada utilizando a PCA, onde demonstrou forte relação entre a diminuição da turbidez, aumento da acidez ($\text{pH} < 6$) e aumento da Condutividade Elétrica da água, em função de distâncias das fossas menores e poços com as menores profundidades (LAUREANO *et al.*, 2020).

Com isso, é possível observar que os poços que pertencem ao Grupo A, ou seja, se encontram do lado direito e positivo do gráfico da PCA, são caracterizados como os mais adequados, por mais que possuam valores para turbidez mais elevados, dispõem de pH menos ácidos, e condutividade elétrica menos altas, profundidades maiores e distanciamentos das fossas maiores e dentro dos padrões, sendo em sua maioria do bairro agreste.

Por outro lado, os pontos que tenderam ao lado esquerdo e negativo do gráfico, pertencentes ao Grupo B, foram definidos como poços menos adequados e mais afetados pelas variáveis de influência na qualidade, visto que deste lado do eixo tenderam poços mais rasos, fora dos padrões de distanciamento das fossas, e mesmo que os demais estejam dentro deste limite, apresentaram os menores valores comparados ao quantitativo total de medições, evidenciando que tais poços possuem forte relação com potencial hidrogeniônico baixo (ácido) e condutividade elétrica elevada, sendo, em sua maioria, do bairro Nova Esperança.

6 CONCLUSÃO

Foi possível verificar que a qualidade do recurso subterrâneo se encontra comprometida, e que os fatores de influência investigados nesse estudo possuem forte relação com essa alteração da qualidade.

A pesquisa partiu da hipótese de que haveria contaminação em poços que não estariam dentro dos padrões de segurança estabelecidos com relação à falta de saneamento, tanto no que se refere à distância, quanto à existência de revestimento. Tal hipótese não foi confirmada quanto à contaminação microbiológica, pois não foi detectada a presença de microrganismos patogênicos, visto que a grande maioria dos poços atendeu aos critérios de distanciamento e infraestrutura. No entanto, houve alteração físico-química referente aos parâmetros turbidez, pH e Condutividade Elétrica. Diante disso, tornam-se necessárias análises periódicas conforme recomenda a legislação, pois os métodos de análises detectam contaminação recente, referente somente ao momento da coleta de água, assim, se fazendo essencial um monitoramento.

Quanto à turbidez, a água da maioria dos poços do bairro agreste se apresentou fora do limite estipulado pela legislação ($<1UT$). Para pH, todos os poços foram caracterizados como ácidos com valor mínimo 3,8 e máximo 4,2, indicando a inadequação das águas subterrâneas perante a Portaria de Consolidação nº888/2021 (6,0 a 9,5). Os valores de condutividade elétrica, por mais que não exista um limite expresso na legislação, se apresentaram bastante elevados, tendo como valor mínimo 133,1 e máximo de 442,4. Estes resultados servem de indicativo para identificação de possíveis atividades antropogênicas de contaminação, principalmente em relação à descarga de efluentes domésticos.

A técnica estatística multivariada por meio da aplicação da PCA promoveu a melhor identificação dos grupos das variáveis de qualidade de água na divisão dos bairros revelaram que os poços do bairro Agreste são mais adequados quanto aos parâmetros físico-químicos e fatores de influência analisados, do que aqueles analisados do bairro Nova Esperança. Esse fato tem importantes implicações sanitárias, pois comprova o risco que esse tipo de abastecimento no bairro Nova Esperança oferece para o consumo humano, assim como ambientais, pois demonstra a degradação de recursos hídricos que deverão suprir a demanda de água no futuro.

O interesse despertado por parte dos residentes tornou-se um resultado positivo para essa pesquisa em meio à preocupante situação local. Consideramos que a gestão pública do estado do Amapá deve procurar desenvolver uma veiculação de informações sobre as medidas de segurança para abertura de poços e construção de fossas adequadas, a fim de evitar que se tornem fontes de contaminação para o aquífero, suscitando a diminuição dos índices de doenças transmitidas pela água e ampliação da qualidade de vida.

Diante do exposto, há a necessidade de identificar, através de estudos posteriores, como o consumo dessas águas pode influenciar na saúde das populações que estão expostas a recursos hídricos de qualidade incerta, já que os parâmetros avaliados por este estudo, quando em concentrações elevadas, podem estar associados a uma série de problemas de saúde. Além disso, dada às limitações encontradas para o desenvolvimento deste trabalho, tais como pouco tempo e recursos escassos, o estudo evidencia a necessidade de pesquisas futuras mais aprofundadas acerca da qualidade da água subterrânea no município e seus respectivos impactos, buscando incluir mais parâmetros de controle e monitoramentos periódicos, conforme estabelece a legislação.

REFERÊNCIAS

- ANANIAS DS, Souza EB, Souza PF, Souza AML, Vitorino MI, Teixeira GM, Ferreira DBS. Climatologia da estrutura vertical da atmosfera em novembro para Belém-Pa. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2010.
- APHA – American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd. Washington, **DC: American Public Health Association**, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12244**; Construção de Poço Tubular para captação de Água Subterrânea. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**; Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
- AUGUSTO, L. G. S. et al. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, jun. 2012.
- AYACH, Lucy Ribeiro et al. Contaminação das águas subterrâneas por coliformes: um estudo da cidade de Anastácio-MS. **CLIMEP-Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 4, n. 1, 2009.
- BEAUDET, N. et al. **Pediatric Environmental Health Specialty Units (PEHSU)**. Nitrates, Blue Baby Syndrome, and Drinking Water: A Factsheet for Families. 2014.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília: ANA, p. 124, 2007. (Caderno de Recursos Hídricos, 5)
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Internações hospitalares, SIH/DATASUS**. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?sih/cnv/nrbr.def> Acesso em: 15 set 2022.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade Brasília – DF. 2021.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Lei 11.445/2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília – DF. 2007.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.
- BRASIL. Ministério das cidades. **Sistema Nacional de Informação de Saneamento - SNIS**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/> Acesso em: 20 set 2022.
- BRASIL. Portal governo do Amapá. **Conheça Laranjal do Jari**. Disponível em: <https://www.portal.ap.gov.br/conheca/laranjal-do-jari>. Acesso em: 13 de abril de 2022.

CAMARGO, Mairo Fabio; PAULOSSO, Luciângela Vieira. Avaliação qualitativa da contaminação microbiológica das águas de poços no município de Carlinda–MT. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 30, n. 1, p. 77-82, 2009.

CAPP, N.; AYACH, L. R.; SANTOS, T. M. B.; GUIMARÃES, S. T. L. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). **Revista de Geografia Ensino & Pesquisa**, vol. 16, n. 3, 2012

CARLI, A. A.; COSTA, L. A. Água potável e saneamento básico: o encontro necessário de dois direitos fundamentais à saúde da vida em geral. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, 2020.

CARVALHO, F. I. M. et al. Assessment of Groundwater Quality from the Belém Based on Physicochemical Parameters and Levels of Trace Elements Using Multivariate Analysis. **Revista Virtual de Química**, v.7, n.6, p.2221-2241, 2015.

CHAVES, Henrique Sousa et al. Aplicação estatística multivariada para a avaliação físico-química na qualidade da água subterrânea na cidade de Parauapebas (Sudeste do Estado do Pará). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 5, p. 261-272, 2020.

CLIMA TEMPO. **Dados meteorológicos de Laranjal do jari – Amapá**. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo/cidade/6415/laranjaldojari-ap> Acesso em: 13 de abril de 2022.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 396, de 3 de ABRIL DE 2008. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. Publicada no DOU nº 66, de 7 de abril de 2008, Seção 1, páginas 64-68.

CPRM. 2018. **SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/> Acesso em: 10 de maio de 2022

DA CRUZ NETO, Bernardo F. **Benefícios da água com pH alcalino: Saúde ou doença, você decide**. 2016.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. São Carlos: Ldibe, 2008. v.1. 878 p.

DUARTE, Patrícia Silva Costa; BARATELLA, Ricardo; PAIVA, Aléxia Salim. As doenças de veiculação hídrica: um risco evidente. **ENCONTRO DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO**, v. 8, p. 22-24, 2015.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual prático de análise de água**. 4 ed. Brasília. Funasa, 2013. 150 p.

GASPAROTTO, F. A. **Avaliação ecotoxicológica e microbiológica da água de nascentes urbanas no município de Piracicaba-SP**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 90. 2011.

GIATTI, L. L.; CUTOLO S. A. Access to water for human consumption and aspects of public health in the Brazilian Amazon. In: BILIBIO, C.; HENSEL, O.; SELBACH, J. (Org.). **Sustainable water management in the tropics and subtropics**. Jaguarão/RS: Fundação Universidade Federal do Pampa / UNICASSEL / PGCUI/UFMA, 2012, v. 3, p. 613-651, 2012.

GRAY, N. F. **Calidad del agua potable: problemas y soluciones**. Zaragoza: Acribia, 1994.

GROTT, Silvana Lopes et al. Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, p. 645-654, 2018.

GUEDES, Anderson Ferreira et al. Tratamento da água na prevenção de doenças de veiculação hídrica. **Journal of medicine and Health Promotion**, v. 2, n. 1, p. 452-461, 2017.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001. Disponível em: <https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/>. Acesso em: 15 jun. 2022.

HELLER, L.; DE PÁDUA, V. L. Abastecimento de água para consumo humano. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 859 p.

HIRATA, R. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento**. Instituto Trata Brasil. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resultados dos dados preliminares do Censo 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 13 mai. 2022

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Saneamento em Laranjal do Jari**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 13 mai. 2022

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do saneamento no Brasil**. São Paulo, 2018.

Disponível em: <http://tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking_2018/Relatorio_Ranking_Trata_Brasil_2018_.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2022.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento Instituto Trata Brasil 2022**. São Paulo, 2022. Disponível em: <http://tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking_2020/Relatorio_Ranking_Trata_Brasil_2021_.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2022.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Saneamento**. São Paulo, 2022. Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/pt/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>>. Acesso em: 05 mai. 2022.

IRITANI, M.A.; EZAKI, S. **As Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo. Cadernos de Educação Ambiental.** 104p. Secretaria do Meio Ambiente. Instituto Geológico. São Paulo. 2008. 104p.

LAUREANO, J. de J. et al. Análise da qualidade da água subterrânea: estudo de caso na microbacia do Igarapé Nazaré (Rondônia, Amazônia ocidental). **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 1, 2020. DOI: 10.14295/ras.v35i1.29972. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29972>. Acesso em: 28 out. 2022.

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

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

MAIA, Samara Aquino et al. **Avaliação da qualidade da água dos poços do aquífero Alter do Chão na comunidade agrícola Nova Esperança, Manaus-AM.** Planejamento e desenvolvimento sustentável em bacias hidrografias, 2021: p. 104.

MESQUITA, Karina Ferreira Castro et al. Avaliação da qualidade microbiológica da água consumida pela população da região amazônica um estudo de casos na ilha de Mosqueiro PA. **Revista Scientia Amazonia**, v. 3, n. 3, p. 27-31, 2014.

MINGOTI, S. A. Análise de dados através de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: **Editora UFMG**, 2005.

MIRANDA, A. B.; TEIXEIRA, B. A. N. Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas urbanos de abastecimento de água e esgotamento sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental** [online]. v. 9, n. 4. 2004.

NATAL, L.; NASCIMENTO, R. Águas subterrâneas: conceitos e controvérsias. **Boletim mídia ambiente.** São Paulo, ano II, n. 6, out/nov. 2004.

NERY, J.R.C.; MOURA, H.P.; SANTOS, A.L.L.; REIS, A.A.B. (2014) Estudo físico-químico de águas subterrâneas na área do bairro zero, Macapá (AP). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**, 18., 2012, São Paulo. Revista Águas Subterrâneas. São Paulo

OMS, ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Documento de informação técnica sobre água, saneamento, higiene e gestão das águas residuais para prevenir infecções e reduzir a propagação da resistência aos antimicrobianos.** Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO). 2019

OPAS-BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).** Disponível em <https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5849:objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel&Itemid=875> Acesso em: 24 de abril 2022.

PALUDO, D. **Qualidade da água nos poços artesianos do município de Santa Clara do Sul.** Monografia. 77f. Centro Universitário Univates. Lajeado, dez. 2010.

PECORA, Iracy Lea. Doenças de veiculação hídrica. **São Paulo: Atlas**, 2010.

PHILLIPPI, A. **Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Barueri, 2005.

PLETSH, T. A. et al. **Avaliação de risco relativo de doenças de veiculação hídrica de fontes de abastecimento individual de água subterrânea localizadas no Bairro Guriri, São Mateus-ES**. 2021.

PORTO, M. A. L.; OLIVEIRA, A. M.; FAI, A. E. C.; STAMFORD, T. L. M. Coliformes em água de abastecimento de lojas fast-food da Região Metropolitana de Recife (PE, Brasil). **Ciências e Saúde Coletiva**, v.16, n. 5, p.2653-2658, 2011.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 4 ed. Escrituras, São Paulo, 2006.

REVISTA ÁGUA. Campinas: ABAS. Ano 7, nº 41, setembro/outubro 2014.

ROCHA, J. P.; LOPES, A. POÇOS ARTESIANOS: uma reflexão na perspectiva da sustentabilidade. **Revista multidisciplinar**, 2015.

SÁ, Mariangela Facco de et al. **Dinâmica da população de coliformes após a aplicação de dejetos de suínos no solo e durante a sua compostagem automatizada**. 2012.

SANTOS, Ana Paula da Silveira. **Avaliação da qualidade da água de poços artesianos utilizados no abastecimento público do município de Carlos Gomes-RS, através de análises físico-químicas, microbiológicas e testes toxicológicos**. 2017.

SANTOS, J. S. et al. Comparative study of the salinization process in surface water reservoirs located in two distinct regions in southwestern Bahia, Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.22, n.8, p.1418-1425, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532011000800004> Acesso em: 28 out 2022.

SILVA, Arivelton Cosme et al. Impacto físico-químico da deposição de esgotos em fossas sobre as águas de aquífero freático em Ji-Paraná-RO. **Revista de estudos ambientais**, v. 11, n. 2, p. 101-112, 2010.

SILVA, Débora Delatore da et al. **Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT)**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 19, n. 1, p. 43–52, 2014.

SILVA et al. Parâmetros físico-químicos da água utilizada para consumo em poços artesianos na cidade de Remigio-Pb. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 2, 2017.

SILVA et al. Impacto Físico-Químico da Deposição de Esgotos em Fossas Sobre As Águas de Aquífero Freático Em Jiparaná - Ro. REA – **Revista de estudos ambientais (Online)** v.11, n. 2, p. 101-112, jul./dez. 2009.

SOBRINHO, T. R.G. et al. **Classificação climática conforme a metodologia Köppen do município de Laranjal do Jari/Amapá/Brasil. VII CONNEPI -**, 2012. Disponível em <https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/view/4752/2077> Acesso 15 jun 22

SOUSA, R. R. **Estudo comparativo entre métodos de avaliação da vulnerabilidade natural de aquífero, aplicado na porção Oriental da bacia sedimentar do Parnaíba no município de Tianguá – Ceará.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2016.

SOUTO, F.A.F. et al. Avaliação Preliminar da água consumida no loteamento Marabaixo III, Macapá-AP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, **Revista Águas Subterrâneas.** São Paulo, 2004.

SOUZA, R. A. **Avaliação de metais em águas na sub-bacia hidrográfica do Rio Ivinhema, Mato Grosso do Sul.** 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS, 2007.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química Ambiental.** 2. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2009.

VIANA, M. S. et al. **Análise físico-química comparativa da qualidade da água para consumo humano em dois bairros de Muriaé - MG.** In: Encontro de Iniciação Científica FAMINAS da Zona da Mata-MG, 4, 2007, Muriaé. Suplemento Revista Científica da Faminas. Muriaé: FAMINAS, 2007.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos.** 1 ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

VIEIRA, A. R. **Cadernos de educação ambiental água para vida, água para todos: livro das águas.** Brasília: WWF-Brasil, 2006.

VOGEL, A. I.; MENDHAM, J.; DENNEY, R. C.; BARNES, J. D.; THOMAS, E. M. J. K. **Análise química quantitativa.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 447 p.

VON SPERLING, E. Afinal, quanta água temos no planeta. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 4, pág. 189-199, 2006.

WHATELY, Marussia; CAMPANILI, Maura. **O século da escassez: Uma nova cultura de cuidado com a Água: Impasses e Desafios.** Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2016.

WHO/UNICEF, Protecting and promoting human health. In: **Water, a shared responsibility.** The UN Water Development Report 2, UNESCO, Paris.2006, p. 202-240.

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
CAMPUS LARANJAL DO JARI
TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

PESQUISA ELABORADA PARA APLICAÇÃO DO TCC

Professora Orientadora: Darley Calderaro Leal Matos

Pesquisador responsável: Marcela Adriane Pires da Silva

Endereço: CEP: 68920-000 – Laranjal do Jari-AP

E-mail: marcelaadriane04@gmail.com

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Convidamos você para participar da pesquisa **AVALIAÇÃO FÍSICO—QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E FATORES DE INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ÁGUA EM POÇOS RESIDENCIAIS NO MUNICÍPIO DE LARANJAL DO JARI, AMAPÁ, BRASIL**. Este estudo tem como objetivo analisar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos e possíveis fatores de influência na qualidade da água proveniente de poços residenciais no município de Laranjal do Jari, utilizando como pontos amostrais poços localizados nos bairros Agreste e Nova Esperança.

Para participar deste estudo você não terá nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Você será esclarecido (a) sobre o estudo em qualquer aspecto que desejar e estará livre para participar ou recusar-se a participar. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não acarretará qualquer penalidade ou modificação na forma em que é atendido pelo pesquisador. O pesquisador irá tratar a sua identidade com padrões profissionais de sigilo. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. O seu nome ou o material que indique sua participação não será liberado sem a sua permissão. Você não será identificado em nenhuma publicação que possa resultar deste estudo. Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias, sendo que uma cópia será arquivada pelo pesquisador responsável, no INSTITUTO FEDERAL DO AMAPÁ – IFAP e a outra será fornecida a você. Caso haja danos recorrentes dos riscos previstos, o pesquisador assumirá a responsabilidade pelos mesmos.

Eu, _____, fui informado (a) dos objetivos do estudo já mencionado, de maneira clara e detalhada. Declaro que concordo em participar desse estudo e autorizo a coleta de amostras de água, coleta de dados a respeito da distância entre os pontos analisados, e fornecimento de informações para o preenchimento do formulário da entrevista. Sei que

a qualquer momento poderei solicitar novas informações. Recebi uma cópia deste termo de consentimento livre e esclarecido.

Laranjal do Jari, ____ de Setembro de 2022.

Assinatura do Participante

APÊNDICE B – FORMULÁRIO

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ
CAMPUS LARANJAL DO JARI
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

FORMULÁRIO

Nome:

Endereço:

Número de moradores na residência:

Informações sobre os poços

01. Profundidade do poço (m)

02. Diâmetro do tubo (mm)

03. Utiliza sistema de bombeamento?

() sim () não

04. Possui licença e registros legais diante dos órgãos competentes?

05. Há quanto tempo foi perfurado?

06. Já foram feitos monitoramentos de sua qualidade?

() Sim () Não

Se sim, quais parâmetros foram analisados, qual o resultado das últimas análises e há quanto tempo foram feitas? _____

07. Para qual fim a água é utilizada?

() Consumo humano

() Atividades domésticas

() Higiene pessoal

() Todas as opções

08. Existem métodos de tratamento para consumo humano?

Cloro

Filtração

Fervura

Não é feito tratamento

09. É a única fonte de consumo humano da propriedade ou utilizam também da rede pública?

Única fonte de consumo

Ambas são utilizadas para consumo

10. É perceptível uma mudança de gosto, cor ou cheiro na água no decorrer do ano?

sim não

Informações sobre as fossas

11. Quantas fossas existem na residência?

12. Existe alguma fossa desativada? Há quantos anos está desativada?

13. Qual a profundidade da fossa utilizada atualmente?

14. Há revestimento?

sim não

15. Há quantos anos em média foi construída?

Laranjal do Jari/AP, _____ de Outubro de 2022.