
Análise da qualidade das águas para o consumo humano na comunidade São Francisco de Irituia, Nordeste do estado do Pará

Analysis of water quality for human consumption in the community of São Francisco de Irituia, Northeast of the state of Pará

Recebido: 01/10/2024 | Aceito: 30/10/2024 | Publicado: 02/11/2024

Talita Soares Rocha

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9997-4646>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: talitae18@gmail.com

Hebe Morganne Campos Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7154-9947>

Universidade do Estado do Pará, Brasil

E-mail: hebemcr@uepa.br

RESUMO

Fornecer água potável é um desafio, pois a qualidade e quantidade da água podem ser afetadas por fatores naturais e antrópicos. Logo, objetivou-se analisar a qualidade hídrica do sistema de abastecimento da comunidade São Francisco de Irituia, através de parâmetros físico-químicos e microbiológicos e comparar com os valores estabelecidos pela Portaria de Consolidação Nº 5 – Anexo XX, alterada pela Portaria Nº 888, de 04 de maio de 2021. Utilizou-se abordagem mista: métodos quantitativos para medir fenômenos através de análises laboratoriais e estatísticas, e métodos qualitativos a devidas discussões. A análise físico-química constatou que os valores de pH e condutividade elétrica (CE) não estão em conformidade com a regulamentação. Já os demais parâmetros estão dentro dos limites permitidos. As análises microbiológicas revelam que a água consumida pela comunidade apresenta coliformes totais em cinco pontos examinados, e a presença de *Escherichia coli* em duas amostras. Apenas o P2 foi considerado seguro para consumo humano. Recomenda-se, o aprimoramento dos serviços de abastecimento de água, a fim de alcançar melhorias significativas à saúde pública.

Palavras-chave: Recursos hídricos; Gestão hídrica; Saúde; Saneamento básico; Segurança hídrica.

ABSTRACT

Providing drinking water is a challenge, as water quality and quantity can be affected by natural and anthropogenic factors. Therefore, the objective was to analyze the water quality of the supply system of the São Francisco de Irituia community, through physical-chemical and microbiological parameters and compare with the values established by Consolidation Ordinance No. 5 – Annex XX, amended by Ordinance No. 888, May 4, 2021. A mixed approach was used: quantitative methods to measure phenomena through laboratory and statistical analyses, and qualitative methods for appropriate discussions. The physical-chemical analysis found that the pH and electrical conductivity (EC) values do not comply with regulations. The other parameters are within the permitted limits. Microbiological analyzes reveal that the water consumed by the community has total coliforms in five points examined, and the presence of *Escherichia coli* in two samples. Only P2 was considered safe for human consumption. It is recommended to improve water supply services in order to achieve significant improvements to public health.

Keywords: Water Resources; Water Management; Health; Basic sanitation; Water Insurance.

INTRODUÇÃO

O acesso a água potável é um direito, e está em consonância com o sexto Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030. Desde 1990, a interação entre o meio ambiente e a saúde vem ganhando destaque nas discussões sobre políticas públicas (ONU, 2023). O abastecimento adequado e sustentável de água dos países em desenvolvimento é um desafio (Negese & Kebede, 2023). Pelo fato desse recurso estar sujeito a sofrer alterações na sua qualidade e quantidade mediante os fatores naturais ou antrópicos que podem ocasionar malefícios aos consumidores (Conceição, 2014). Diante disso, este estudo visa à análise da qualidade das águas para o consumo humano em uma comunidade no nordeste do Estado do Pará.

Os recursos hídricos sofrem impactos negativos pelo fato de estarem expostos a vários tipos de poluição atrelados ao consumo inapropriado (Silva et al., 2022a). Consequentemente, surgem inúmeras doenças transmitidas pela água, por conter microrganismos patogênicos e fatores físico-químicos da água derivado de tratamento impróprio (Reis et al., 2023). Cerca de 85% das doenças em países subdesenvolvidos são propagadas pela veiculação hídrica, grande parte desse índice é resultado dos usos inadequados (Manuel et al., 2018).

A necessidade básica de saneamento é uma preocupação, pois sua falta está relacionada à transmissão de doenças e outros problemas (Costa et al., 2022). Em decorrência disso, um ano antes da pandemia de Covid-19 chegar ao Brasil, a falta de saneamento já sobrecarregava o sistema de saúde com 273.403 internações por doenças

transmitidas por veiculação hídrica (ITB, 2019). A pandemia da Covid-19 ressaltou a estreita relação entre água e saúde, sendo a higiene frequente das mãos uma barreira essencial para prevenir o contágio e, mais importante, a constatação de que a segurança sanitária de qualquer indivíduo guarda dependência com a oferta do acesso à água potável (Ribeiro et al., 2022).

Historicamente, as regiões rurais são esquecidas em termos de investimentos robustos, resultando em uma oferta insuficiente de serviços de saneamento (Lima et al., 2017). Em vista disso, no município de Irituia, localizado no nordeste do estado do Pará, seus serviços básicos de saneamento se encontram ausentes ou precários, pois a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos são destinados a um lixão (SETUR, 2016). Método impróprio, sem a implementação de medidas de proteção ambiental ou de saúde pública. Além disso, 97% dos domicílios encontram-se sem esgotamento sanitário adequado (IBGE, 2017).

Os sistemas hídricos enfrentam desafios desde a coleta até a distribuição. Pois, alguns sistemas podem ser responsáveis por alterar a potabilidade, mediante a sua ineficiência, falta de planejamento e inexistência de reparos na infraestrutura (Bastos & Monte-mor, 2022). Logo, a qualidade da água é assegurada através da análise prévia de eventos adversos relacionados a componentes físico-químicos, microbiológicos e radioativos que possam ser prejudiciais à saúde humana (Pires, 2020). Isso é feito por meio da análise consistente dos resultados do monitoramento de parâmetros estabelecidos em normas (Pires, 2020).

Os parâmetros que definem a potabilidade da água são estabelecidos por órgãos nacionais e internacionais e devem ser seguidos estritamente a fim de garantir o acesso da população a fontes de água limpa (Rodrigues & Bueno, 2019). Os quais funcionam como indicadores da qualidade hídrica, em que são avaliadas as características físicas, químicas e biológicas da água (Silva et al., 2019a). Os indicadores da qualidade da água podem não estar em conformidade quando alcançam valores superiores ou inferiores aos estabelecidos para determinado uso (Boas et al., 2023).

De acordo com os padrões de qualidade hídrica, as águas destinadas ao consumo humano devem ser livres de contaminantes e atender ao padrão de potabilidade estabelecidos pelas Portarias do Ministério da Saúde de nº 5, de 28 de setembro de 2017 e a nº 888, de 04 de maio de 2021 (Brasil, 2021). Portanto, o objetivo do estudo é analisar a qualidade da água do sistema de abastecimento distribuída na comunidade São

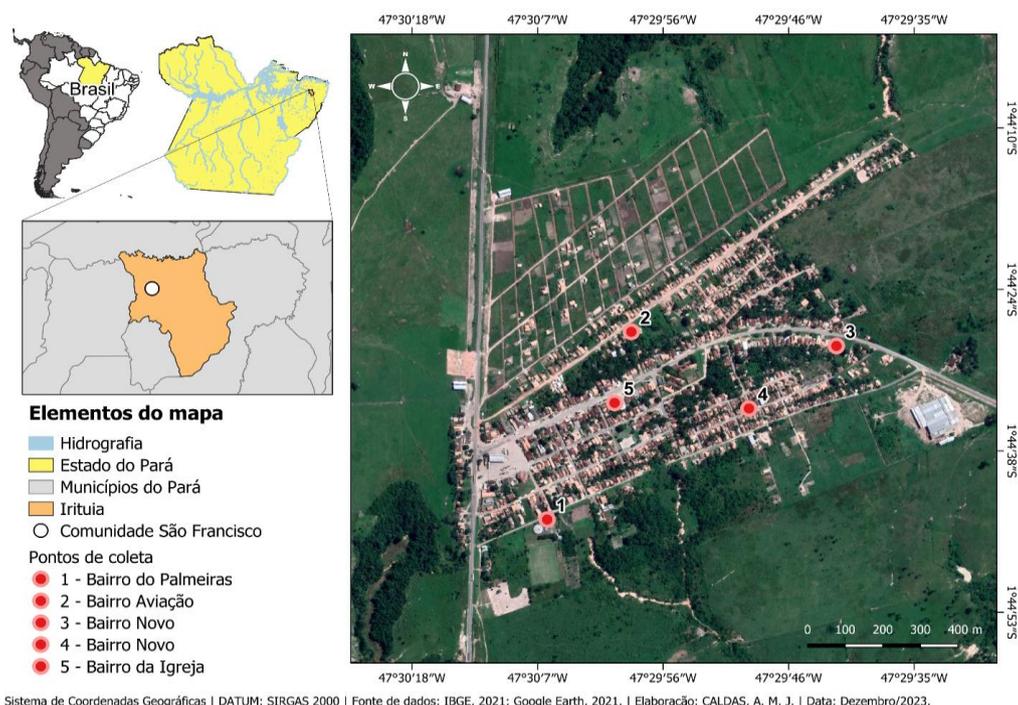
Francisco de Irituia, através de parâmetros físico-químicos e microbiológicos e comparar os resultados com os valores estabelecidos pela Portaria de Consolidação Nº 5 - Anexo XX, alterada pela Portaria Nº 888, de 04 de maio de 2021.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A pesquisa foi realizada na comunidade São Francisco, situada no km 14 da BR 01, no município de Irituia (Figura 1). Irituia é um município situado na mesorregião do nordeste do estado do Pará, microrregião do Guamá, com as coordenadas de latitude $01^{\circ}46'16''$ S e longitude $47^{\circ}26'17''$ W, estando a uma altitude de 25,00 m e a uma distância de 123,30 km da Capital Belém (IBGE, 2021). Ainda conforme o IBGE, a área da unidade territorial do município é igual a 1.385,209 km².

Figura 1 – Mapa de localização da comunidade São Francisco de Irituia – PA com os respectivos pontos de coleta das amostras de água



Fonte: Autoras (2023)

A população estimada de Irituia é de 32.639 pessoas, e a densidade demográfica do município é de 22,74 hab/km² (IBGE, 2011). Entre os municípios do nordeste paraense, Irituia se diferencia por ter a sua população rural de 24.873 habitantes, a qual é maior que

a urbana com 6.509 habitantes (FAPESPA, 2022). Desse total populacional do município, a comunidade São Francisco de Irituia é composta por aproximadamente 2.664 pessoas.

Caracterização da pesquisa

A abordagem da pesquisa é quantitativa e qualitativa, quantitativa por medir fenômenos mediante análise laboratorial e a utilização da estatística (Sampieri et al., 2013). E qualitativa, por apresentar a contextualização dos fenômenos, em que há a exploração de significados com profundidade aos resultados analisados (Marconi & Lakatos, 2022). Quanto à natureza do estudo é aplicada, em que o objetivo da pesquisa é exploratório, pois ocorrerá a realização da coleta de informações mediante um levantamento bibliográfico, e análise laboratorial (Marconi & Lakatos, 2022).

Coleta e análise de dados

A coleta das amostras de água seguiu a Norma Brasileira Registrada - NBR 9898 (ABNT, 1987) e foi realizada em 6 pontos amostrais, em casas de moradores próximos aos pontos de captação e distribuição de cada bairro. O armazenamento e acondicionamento das amostras seguiram metodologia estabelecida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. A seguir, na Tabela 1, encontram-se as coordenadas geográficas, referências e características de abastecimento da comunidade São Francisco de Irituia, referentes aos pontos de coleta das águas analisadas.

Tabela 1 – Coordenadas geográficas, referência e características dos pontos de coleta das águas

Ponto de coleta	Coordenada Geográfica	Referência	Características
P1	S 01°44'42.6" W 041°30'04.5"	Bairro do Palmeiras	Bomba submersa leão de 10 CV; poço de 94 metros de profundidade; lençol estático a 25 metros e o lençol dinâmico a 60 metros.
P2	S 01°44'27.9" W 047°29'59.2"	Bairro Aviação	Bomba submersa leão de 10 CV; poço de 135 metros de profundidade; lençol estático a 40 metros e o lençol dinâmico a 66 metros.
P3	S 01°44'34.6" W 047°29'47.1"	Bairro Novo	Bomba submersa leão de 10 CV; poço de 94 metros de profundidade; lençol estático a 25 metros e o lençol dinâmico a 54 metros.

P4	S 01°44'29.3" W 047°29'39.5"	Bairro Novo	Bomba submersa leão de 10 CV; poço de 100 metros de profundidade; lençol estático a 25 metros e o lençol dinâmico a 54 metros.
P5	S 01°44'31.0" W 047°29'59.1"	Bairro da Igreja	São duas bombas submersas de 10 CV; poço de 120 metros de profundidade (cada poço); lençol estático a 25 metros e o lençol dinâmico a 72 metros.
P6	S 01°46'48.6" W 047°30'50.9"	Km 18	Bomba submersa, sem mais informações.

Fonte: Autoras (2023)

Os parâmetros analisados foram os físico-químicos e microbiológicos seguintes: pH, Sólidos Dissolvidos Totais, Condutividade Elétrica, Turbidez, Cor Aparente, Fósforo, Nitrito, Nitrato, Coliformes totais e Escherichia. Coli. Após a recepção das amostras coletadas, as análises foram realizadas no Laboratório de Água da Amazônia - LabÁgua, localizado no Parque de Ciência e Tecnologia - PCT Guamá. As análises seguiram os padrões estabelecidos pelo método internacional Standard Methods for Water and Wastewater (APHA, 2017).

Em sequência, para o tratamento final dos dados, foi realizada a estatística descritiva por meio da tabulação dos dados, mediante a utilização do Microsoft Excel 2016. Os resultados obtidos foram comparados e discutidos mediante aos padrões estabelecidos pela Portaria GM/MS N° 888, de 04 de maio de 2021. Com base nos resultados de cada ponto de coleta dos parâmetros físico-químicos estudados, procedeu-se à análise estatística multivariada dos dados de qualidade da água.

A análise por meio da estatística multivariada permite analisar simultaneamente amostras e variáveis, reduzindo a dimensão dos dados e mantendo as informações relevantes (Maia et al., 2019). Foi utilizada a Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA), em que o objetivo é estabelecer agrupamentos entre as amostras, demonstrando similaridades e/ou diferenças entre os pontos de coleta. Para essas análises, foi o utilizado o software Minitab 17.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Qualidade físico-química da água

Os resultados mostram os parâmetros: pH, condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos totais (SDT), turbidez, cor aparente (CA), fósforo, nitrito e nitrato. Na tabela 2, encontra-se também os valores máximos permitidos (VMP) para cada resultado dos parâmetros, conforme a Portaria GM/MS de nº 888 de 04 de maio de 2021.

Tabela 2 – Resultados dos parâmetros físico-químicos

Amostra								
	pH	CE (uS/cm)	CA (PtCo)	SDT (mg/L)	Turbidez (NTU)	Fósforo (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)
P1	7.04	213.49	0	85.05	0.185	0.30	0.003	0.90
P2	5.08	103.1	0	44.3	0.275	0.10	0.004	1.82
P3	6.03	100.82	0	43.25	0.26	0.09	0.003	0.89
P4	5.80	108.3	0	46.45	0.125	0.86	0.002	1.12
P5	7.44	308.95	0	136.05	0.13	0.08	0.004	0.14
P6	7.54	345.3	0	150.8	0.12	0.10	0.008	0.01
VMP	6-9	50	15	500	5	1	1	10

Fonte: Autoras (2023)

Os resultados mostram que os valores de pH obtidos nos pontos: P1, P3, P5 e P6 estão de acordo com padrão de potabilidade. Já as amostras P2 e P4 (destacadas na Tabela 2) estão abaixo do estabelecido pela portaria, considerados ácidos. O pH (potencial hidrogeniônico) é um parâmetro que caracteriza a acidez, neutralidade ou basicidade de um determinado meio (Neres, 2010). Ainda conforme esse autor, neutralidade é representada pelo valor sete, enquanto valores inferiores indicam acidez e valores superiores indicam basicidade. O pH é uma variável ambiental crucial e complexa, pois pode ser afetado por diferentes fatores associados a fontes de poluição difusa ou localizada (Rodrigues & Bueno, 2019). Essas variações podem ser ocasionadas tanto por motivos naturais quanto humanos (Von Sperling, 2007). Ainda conforme esse autor, ações antrópicas, tais como o lançamento de esgoto e atividades industriais, podem afetar

o pH; por outro lado, processos naturais, como a dissolução de rochas, também podem influenciar na mudança do pH.

O pH tem impacto nos processos de purificação e desinfecção da água, sendo uma característica essencial no abastecimento de água, pois afeta a coagulação química, desinfecção, amaciamento da água e controle de corrosão (Alencar et al., 2020). Em condições muito ácidas pode corroer tubulações e componentes das redes de água, enquanto um pH alcalino pode causar acúmulo de substâncias (Neres, 2010). Nas análises físico-químicas de Pinheiro et al. (2023), em dois sistemas de abastecimento de água do município de Oriximiná-PA, na maioria das amostras de água potável, o pH não atendeu os valores estabelecidos pela legislação.

Na região amazônica, fontes de água superficiais e subterrâneas frequentemente apresentam baixo pH devido à grande quantidade de matéria orgânica em decomposição na superfície do solo e aos altos níveis de precipitação na região (Freddo Filho, 2018). Isso faz com que os resíduos sejam rapidamente transportados para os rios e lagos ou infiltrados no lençol freático (Pinheiro et al., 2023). No estudo de Oliveira (2019), foram analisados os parâmetros físico-químicos dos sistemas aquíferos da região nordeste do estado do Pará (onde se localiza a comunidade estudada), o pH do Aquífero Barreiras é predominantemente ácido, com média de 4,7, já o Aquífero Pirabas tem pH acima de 6,0 devido à dissolução de carbonato. Consequentemente, o nível do lençol freático pode afetar pH e a condutividade elétrica (CE), devido às variações que ocorrem na acidificação do pH e CE (Rosa & Ucker, 2019).

Os resultados para CE apresentaram valores preocupantes pois, em todos os pontos analisados os valores se mostraram acima do indicado (destacados na Tabela 3). O Ministério da Saúde não estabelece valores máximos permitidos para esse parâmetro (Morais et al., 2016). Todavia, conforme Von Sperling (2007) a condutividade muda com a sazonalidade, e em águas naturais podem apresentar teores na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em ambientes poluídos os valores podem chegar a 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. É comum observar um aumento na CE da água durante o período de estiagem, uma vez que durante as chuvas ocorre uma maior infiltração de água superficial, resultando na diluição dos sais e consequente diminuição da condutividade (Rezende et al., 2023).

A CE na água é a medida que indica a quantidade de íons dissolvidos nela, ou seja, quanto mais íons estiverem presentes na água, maior será o valor da sua condutividade elétrica (Oliveira et al., 2020). A CE pode ser utilizada como um parâmetro

de referência para se ter um conhecimento mesmo que superficial da qualidade dos corpos hídricos (Vasconcelos et al., 2019). Ainda segundo esses autores, a condutividade elétrica pode ser usada como um parâmetro relativo, visto que, se a condutividade elétrica for alta, a quantidade de sais (cátions e ânions) também será maior, especialmente em águas subterrâneas. Elevados níveis de CE na água podem sugerir a existência de minerais dissolvidos, como sódio e cloreto, esses elementos podem alterar o sabor da água e causar problemas digestivos (Lordelo et al., 2018). Nas análises de Tavares et al. (2019), foram observados resultados elevados para a CE em todas as amostras de avaliação da qualidade de água de abastecimento da cidade universitária José da Silveira Netto, Belém-PA.

Existe uma inversa relação entre a cor e a CE, isto é, quando há um aumento na cor, ocorre uma redução na CE, durante o período menos chuvoso (Reis et al., 2023). Isso explica os resultados obtidos em relação à cor aparente (CA) neste estudo, em que em todos os pontos, apresentaram-se com valores iguais a zero, estando estes de acordo com a legislação, contrariamente dos resultados obtidos para CE. De acordo com a Portaria de nº 888, datada de 4 de maio de 2021, o limite máximo para a cor aparente é de 15 unidades de Hazen (Brasil, 2021).

Em relação aos resultados obtidos de sólidos dissolvidos totais (SDT), todas as amostras apresentaram valores de acordo com a portaria de potabilidade. A presença de sólidos dissolvidos totais (SDT) pode mudar as características organolépticas da água, resultando em um sabor salobro ou salgado (Morais & Araújo, 2015). Os SDT na água são compostos principalmente por sais inorgânicos e materiais dissolvidos, eles compõem 95% ou mais do peso total de sólidos, os sais são compostos de ânions, como carbonatos, cloretos, sulfatos e nitratos, e cátions, como sódio, potássio, cálcio e magnésio (Braga et al., 2021). O estudo de Simões et al. (2022), realizado em Santa Bárbara-PA, que também apresentaram valores baixos de SDT.

Para os resultados de turbidez, todas as amostras se apresentaram em concordância, dentro do permitido da portaria de potabilidade. As disposições da portaria exigem que em todos os pontos de consumo ou ao longo da rede de distribuição (reservatório e canalizações), o valor máximo permitido de turbidez seja de 5,0 uT (Brasil, 2021). Em vista disso, os valores mostram uma relação com a cor, pois a transparência da água é afetada pela presença de material sólido em suspensão, o que, conseqüentemente, influencia diretamente a turbidez do recurso (Carmo et al., 2019).

Assim, a correlação entre turbidez e cor é direta, ou seja, quanto mais elevados os valores de turbidez, maiores serão os valores de cor (Silva et al., 2021b).

Em relação ao fósforo, os valores obtidos estão de acordo com o estabelecido. Situação positiva, pois de acordo com Silva et al. (2021b), é natural a ocorrência do fósforo na água, porém em quantidade pequena, provinda da decomposição de matéria vegetal. Entretanto, a presença do fósforo pode ser de origem antropogênica, como de esgoto urbano, agrícola ou industrial, contendo fosfatos de detergentes e matéria orgânica de resíduos fecais (Silva et al., 2021a). Além de que, o aporte de nitrogênio e fósforo pode causar danos aos ecossistemas e às populações humanas, resultando em um aumento excessivo de organismos fitoplanctônicos e fitobentônicos (Santos & Medeiros, 2023). Em outro estudo, de Melo et al. (2022), localizado no estado do Pará, no município de Santarém, as águas oriundas de fontes subterrâneas também apresentaram altos índices de fósforo, fora do limite permitido pela legislação.

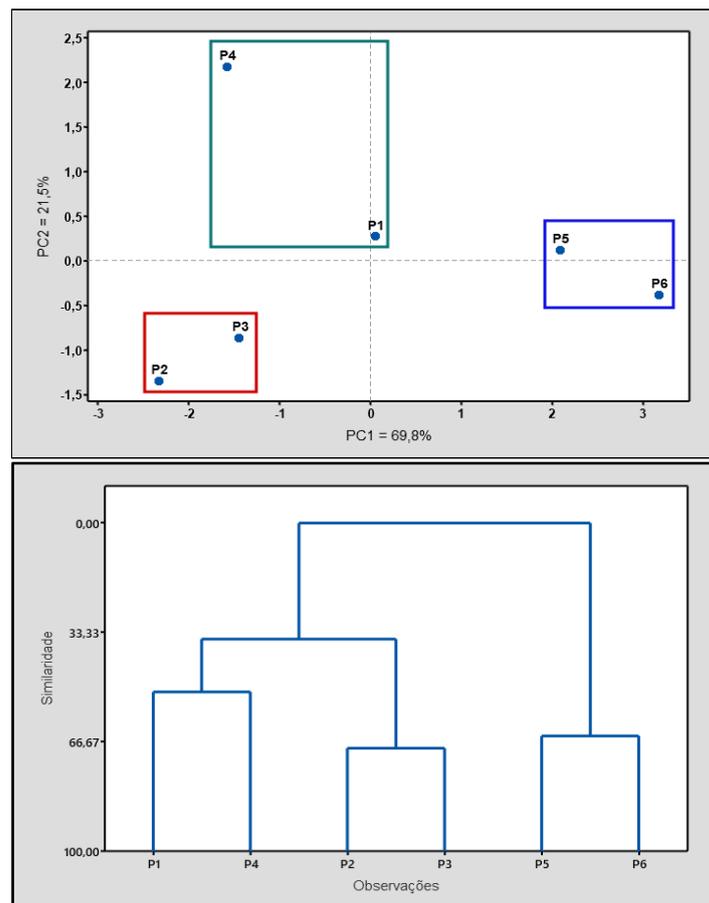
Já os resultados referentes a nitrato, em todas as amostras também se mostraram dentro do permitido pela portaria GM/MS de n° 888 de 04 de maio de 2021, estando de acordo. O nitrato é produzido pela oxidação do nitrito pelas bactérias *Nitrobacter* e é facilmente dissolvido em água, tornando-se uma ameaça aos recursos hídricos, sendo o contaminante mais disseminado em águas subterrâneas (Oliveira et al., 2021). O uso excessivo de fertilizantes e a disposição de resíduos animais, urbanos e industriais contaminam águas subterrâneas com nitratos, o que pode prejudicar a saúde de crianças e mulheres grávidas, limitando o uso dessas águas para consumo humano (Costa et al., 2017).

Por fim, para os resultados de nitrito, todas as amostras se apresentaram em acordo com a legislação, estando dentro dos limites estabelecidos. Assim como no estudo de Ferreira et al. (2021), no qual também avaliou a potabilidade da água subterrânea distribuída à população, na cidade de Humaitá-AM, os valores de nitrito obtidos em todas as amostras foram inferiores ao estabelecido. Dessa forma, a qualidade hídrica se encontra fora de perigo em relação a essa substância. Visto que, a presença de nitrito em elevadas concentrações pode ser prejudicial à saúde humana e animal, além disso, essa substância pode indicar a existência de contaminação fecal, proveniente de esgotos, escoamento agrícola ou outras atividades (Vieira et al., 2023).

Estatística Multivariada dos parâmetros físico-químico

A Análise de Componentes Principais (PCA) revelou que a primeira componente principal (PC1) e a segunda componente principal (PC2) representaram 91,3% da variação total dos dados considerados. A PC1 explicou 69,8% dessa variação, enquanto a PC2 explicou 21,5%, indicando uma boa representação da variabilidade original. A Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA) é apresentada na forma de um dendrograma, no qual, quanto menor a distância relativa, maior a similaridade entre as amostras, conforme ilustra a Figura 2. No estudo de Chave et al. (2020), realizado na cidade de Parauapebas-PA, foi utilizada a PCA e HCA para avaliar a contaminação de águas subterrâneas em bairros, a PCA foi capaz de explicar 75,5% da variação total dos dados e a HCA confirmou as correlações encontradas.

Figura 2 - Gráfico dos scores (PCA) e dendrograma dos pontos amostrais (HCA) das análises físico-químicas



Autoras (2023)

Nota-se que há similitude entre os pontos P1 e P4, e proximidade com o P2 e P3, nos quais também apresentam similitude entre eles, e formam o segundo grupo de observações. Consequentemente, os pontos P5 e P6, formam o último grupo do dendrograma, que apresenta similitude. Pode-se concluir, que a maior similaridade ocorreu entre os pontos P1 e P4, nos quais formaram um primeiro grupo no dendrograma de observações, dos três grupos formados.

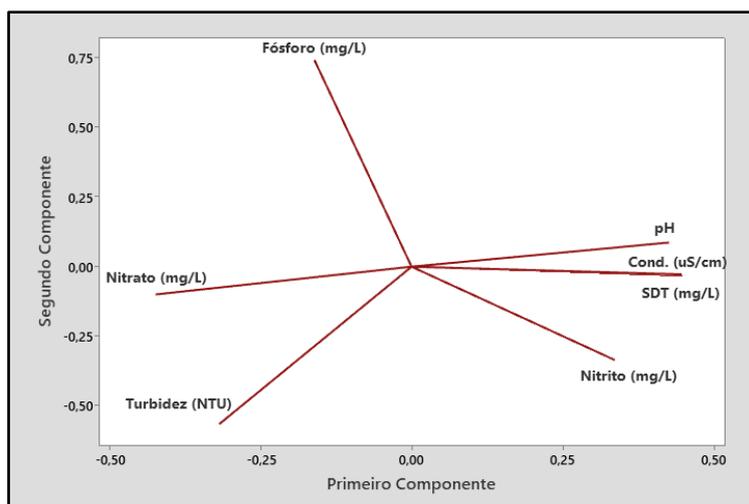
As similaridades entre o primeiro grupo formado (P1 e P4), está relacionado a aproximação entre eles, além disso, ambos não possuem sistemas de reservação de água, as quais são bombeadas diretamente para a utilização humana. O segundo grupo formado (P2 e P3), apresentam semelhanças perante a proximidade com área mais desmatada, ambos localizados nas extremidades da comunidade São Francisco de Irituia, o P2 está próxima a área recentemente ocupada, já o P3 a uma indústria de cerâmica.

Em relação ao último grupo formado (P5 e P6), a similitude ocorre devido a possíveis interferências na qualidade da hídrica das suas localidades, pois o P5 dispõe de um sistema de armazenamento precário, com alto teor de ferrugem, pois seu material é de ferro, e não há reparação periodicamente, além disso, fica disposto bem no centro da comunidade, propício a alteração antrópica. O P6, apesar de estar mais distante de todos os pontos, em relação a localização, mais próxima de zona rural, apresentou similaridade com o P5, por possivelmente estar exposto às atividades antrópicas relacionadas à agricultura e agropecuária.

No estudo de Chave et al. (2020), realizado na cidade de Parauapebas-PA, foi utilizada a PCA e HCA para avaliar a contaminação de águas subterrâneas em bairros, a PCA foi capaz de explicar 75,5% da variação total dos dados e a HCA confirmou as correlações encontradas. Já no estudo de Cotta et al. (2020), as técnicas multivariadas (PCA e HCA) permitiram a separação de dois grupos de águas quimicamente distintos na cidade de São Mateus-ES.

O gráfico de *loadings* (Figura 3) apresenta os parâmetros físico-químicos mais relevantes para a separação das amostras nos referidos grupos formados na Figura 2. De acordo com a Figura 3, as concentrações de fósforo, nitrato e turbidez foram os parâmetros com maior peso para a separação das amostras. Já os parâmetros de pH, condutividade elétrica, SDT e nitrito apresentaram valores elevados e diferentes dos demais.

Figura 3 - Gráfico dos *loadings* (PCA) correspondentes parâmetros físico-químicos.



Autoras (2023)

Em um estudo de Silva *et al.* (2018), foi possível verificar ao considerar a extremidade negativa da PC1, a evidência das concentrações de oxigênio dissolvido (OD) e a condutividade elétrica (CE), foram os principais fatores que influenciaram a formação do primeiro do grupo do gráfico de score PC1 x PC2. Assim, a organização das amostras determina a organização dos dados em gráficos de *scores* e *loadings*, em que os eixos representam as principais componentes (Freitas, 2021). De acordo com esse autor, as *scores* fornecem a composição das PCs em relação às amostras, enquanto os *loadings* fornecem a mesma composição em relação às variáveis.

Qualidade microbiológica da água

A condição da qualidade microbiológica da água para o consumo humano na comunidade São Francisco de Irituia é crítica, pois foram identificados a presença de coliformes totais em 5 amostras: P1, P3, P4, P5 e P6, dos 6 pontos analisados (Tabela 3). Foi verificado a presença de *Escherichia coli* em duas amostras: P1 e P5, o que caracteriza a contaminação fecal das águas utilizadas nesses dois pontos. Isto posto, somente o P2 se mostrou apropriado para o consumo humano, mediante a ausência de coliformes totais.

Tabela 3 – Resultados dos parâmetros físico-químicos

Amostra	Coliformes totais (VMP/100mL)	<i>Escherichia coli</i> (VMP/100mL)
P1	Presente	Presente
P2	Ausente	Ausente
P3	Presente	Ausente
P4	Presente	Ausente
P5	Presente	Presente
P6	Presente	Ausente
VMP	Ausente	Ausente

Fonte: Autoras (2023)

As águas distribuídas para o consumo humano na comunidade estão fora do padrão de potabilidade exigido pela Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021, ao apresentarem resultados positivos para coliformes totais e *Escherichia coli*. Visto que, de acordo com o padrão bacteriológico da água para o consumo humano disposto no capítulo 5, Anexo 1 da Portaria, os responsáveis por SAA e SAC devem garantir a ausência em 100 mL de coliformes totais e *Escherichia coli* (Brasil, 2021).

Isso se deve ao fato de as águas fornecidas ao abastecimento público na comunidade São Francisco de Irituia serem captadas de fontes subterrâneas e distribuídas diretamente à população sem nenhum tipo de monitoramento ou tratamento (Rocha & Ribeiro, 2023). Assim como na comunidade São Francisco de Irituia, no estudo de (Santos et al., 2020b), realizado em comunidades ribeirinhas de Itupiranga no estado do Pará, foi indicada a contaminação da água em 80% das amostras, devido ao precário acesso aos serviços de abastecimento de água e saneamento básico nos resultados das análises microbiológicas.

Os coliformes totais são os indicadores de integridade dos sistemas de abastecimento, pois funcionam como indicador da condição de operação e manutenção do sistema de distribuição de SAA e pontos de consumo e reservatório de SAC em que a qualidade da água produzida pelos processos de tratamento seja preservada (Brasil, 2021). Ainda conforme a portaria, no caso de detecção de resultados positivos para

coliformes totais, mesmo em testes presuntivos, é imprescindível que o responsável pelo SAA ou SAC tome ações corretivas.

A presença de coliformes totais na água podem apontar a existência de microrganismos patogênicos (Viana et al., 2018). Existe uma grande variedade desses microrganismos patogênicos, em geral de origem fecal, que podem estar presentes no meio hídrico, e a presença deles indica contaminação, podendo gerar risco à saúde da população (Martins & Resende, 2020).

As bactérias do grupo coliforme (por exemplo, gêneros *Shcherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Citrobacter* e *Edwardsiella*, a mais famosa das quais é *Escherichia*) são encontradas no sistema digestivo de animais de sangue quente, e atuam como importantes indicadores fecais, pois os seres humanos eliminam, diariamente, bilhões destas bactérias por meio das fezes, sendo provavelmente encontradas nos esgotos domésticos (Herphs et al., 2023). A água potável deve estar livre de microrganismos patogênicos e não pode apresentar bactérias indicadoras de contaminação fecal, sendo a *Escherichia coli* o principal representante desse grupo de bactérias (Silva et al., 2019b).

A *Escherichia coli* é uma bactéria Gram-negativa versátil, facilmente encontrada e suscetível a alteração genética natural e aleatória (Braz et al., 2020). Os patógenos de eliminação fecal são uma das principais classes de microrganismos patogênicos de humanos e animais que causam doenças intestinais graves, infecções do trato urinário e, às vezes, comorbidades (Paula et al., 2017). Surtos desta doença são comumente observados em áreas urbanas e rurais, principalmente devido à contaminação da água potável (Gurgel et al., 2020).

Este tipo de contaminação pode ocorrer durante a captação de água em redes públicas, e isso se deve principalmente ao mau estado sanitário das tubulações e reservatórios que armazenam a água fornecida à população (Moraes et al., 2018). A gestão adequada de projetos e obras de qualidade que envolvem abastecimento de água e saneamento básico pode resultar em uma melhoria significativa na saúde da população (Costa et al., 2022). Ademais, garantir a segurança e a potabilidade depende do nível correto de operação dos sistemas de abastecimento de água, pois desde o processamento até a distribuição, se um deles estiver inapropriado, pode haver contaminação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises realizadas perante a qualidade da água distribuída na comunidade São Francisco de Irituia, foi possível obter resultados perante as análises físico-químicas, as quais mostraram que os parâmetros de pH e condutividade elétrica (CE) estão em desacordo com o estabelecido pela Portaria GM/MS de nº 888 de 04 de maio de 2021, com destaque dos valores referentes a CE, mostraram-se muito acima do estabelecido em todas as amostras de água. Em relação aos outros parâmetros, esses estão de acordo com a legislação da potabilidade.

No que se refere aos resultados das análises microbiológicas, a condição da qualidade da água para o consumo humano na comunidade São Francisco de Irituia é preocupante. Dos seis pontos analisados, apenas o P2 foi considerado próprio para consumo humano, pois foi o único sem a presença de coliformes totais. Por conseguinte, outros pontos apresentaram contaminação fecal, com a presença de *Escherichia coli* em duas amostras (P1 e P5).

Dessa forma, a gestão adequada de projetos e obras de qualidade dos sistemas de abastecimento de água e saneamento básico pode melhorar a saúde da população. Sugere-se a implementação e melhoria dos serviços de abastecimento de água na comunidade e região. Por conseguinte, essas ações perante a gestão em relação ao abastecimento hídrico trarão melhorias significativas e imediatas na saúde pública e na qualidade de vida das pessoas, pois estarão em conformidade com o princípio da existência mínima constitucional.

REFERÊNCIAS

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

APHA - American Public Health Association. Standard methods for examining water and wastewater. 2017.

BASTOS, M.; MONTE-MOR, R. A Regulação dos Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário para a Ampliação da Resiliência Hídrica: Experiências de Agências Infranacionais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 5, p. 2398-2413, 2022.

BOAS, L. A.; BONFIM, C. S.; PIRES, G. P.; SOUZA, I. F. Q. S.; SILVA, T. L. da. Avaliação de parâmetros físico-químicos de qualidade da água da barragem tutu reuter no município de Montanha, ES, Brasil. **Revista Ifes Ciência**, v. 9, n. 1, p. 01-12, 2023.

BRAGA, E. A. S.; AQUINO, M. D.; ROCHA, C. M. S.; MENDES, L. S. A. S.; SALGUEIRO, A. R. G. N. L. Classificação da água subterrânea com base nos sólidos totais dissolvidos estimado. **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 2, 2021.

BRASIL. **Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União. 07 mai. 2021.

BRAZ, V. S.; MELCHIOR, K.; MOREIRA, C. G. Escherichia coli as a multifaceted pathogenic and versatile bacterium. **Frontiers in Cellular and Infection Microbiology**, v. 10, 2020.

CARMO, I. F.; LIMA, N. S.; ALMEIDA, J. J. X.; ANDRADE, N. A.; GOMES, W. C. Análise da potabilidade das águas dos poços artesianos da região metropolitana de São Luís-MA. **Revista Ceuma Perspectivas**, v. 34, n. 2, 2020.

CONCEIÇÃO, F. T. D.; MAZZINI, F.; MORUZZI, R. B.; NAVARRO, G. R. B. Influências naturais e antrópicas na qualidade da água subterrânea de poços de abastecimento público na área urbana de Marília (SP). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** v. 19, n. 3, p. 227-238, 2014.

COSTA, D.; KEMPKA, A.; SKORONSKI, E. A contaminação de mananciais de abastecimento pelo nitrato: O panorama do problema no Brasil, suas consequências e as soluções potenciais. **REDE - Revista Eletrônica Do PRODEMA**, v. 10, n. 2, 2017.

COSTA, G. R.; SILVA, M. H.; CORRÊA, R. I. L.; RIBAS, E. B. Saneamento básico: sua relação com o meio ambiente e a saúde pública. **Paramétrica**, v. 14, n. 1, p. 1-70, 2022.

FAPESPA - Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará. **Estatística Municipal**. 2022.

FERREIRA, L. A.; PIMENTEL, E. T.; SILVA, R. B. P., SANTOS, A. A. Avaliação da qualidade de potabilidade da água subterrânea em áreas rurais no município de Humaitá/AM. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 1, 2021.

FREDDO FILHO, V. J. **Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero Barreiras: estudo de caso em Benevides – PA**. 2018. Dissertação - Universidade Federal do Pará, Belém – PA 2018.

GURGEL, R. S.; SILVA, L. S.; SILVA, L. A. Investigação de coliformes totais e Escherichia coli em água de consumo da comunidade Lago do limão, Município de Iranduba – AM. **Brazilian Applied Science Review** v. 4, n. 4, p. 2512–2529, 2020.

HERPHS, L. S.; LIMA, M. L.; XAVIER, P. M.; SILVA, A. G. Análises físico-químicas e microbiológicas da água destinada ao consumo humano em instituições públicas de ensino da cidade de Porto Seguro-BA. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 19, n. 55, p. 329-344, 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**, Área territorial brasileira. Brasília: Portal Cidades; 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Diretoria de Pesquisas, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - Abastecimento de água e Esgotamento Sanitário**. Brasília: Portal Cidades; 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências**. Brasília: Downloads; 2021.

ITB - Instituto Trata Brasil. **Saneamento e Doenças de Veiculação Hídrica**. São Paulo: ano base 2019; 2021.

LORDELO, L. M. K.; PORSANI, J. M.; BORJA, P. C. Qualidade físico-química da água para abastecimento humano em municípios do sertão da Bahia: um estudo considerando diversas fontes de suprimento. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 1, p. 97-105, 2018.

MAIA, K. P.; SILVA, G. A. D.; LIBÂNIO, M. Aplicação de análise multivariada no estudo da frequência de amostragem e do número de estações de monitoramento de qualidade da água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 25, p. 1013-1025, 2019.

MANUEL, P.; LEITÃO, A. A.; BOAVENTURA, R. A. R. Qualidade da Água para Consumo Humano na Cidade do Uíge (Angola): Água Tratada do Sistema de Abastecimento Público e Água não Tratada de Fontes Alternativas. **Revista Internacional em Língua Portuguesa**, v. 33, p. 75-93, 2018.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia Científica**. Rio de Janeiro: Grupo GEN: 2022.

MARTINS, N. G.; RESENDE, J. C. P. A utilização do método colilert para análise de coliformes totais e escherichia coli em amostras de água. **Sinapse Múltipla**, v. 9, n. 2, p. 123-124, 2020.

MORAIS, R. C. S.; ARAÚJO, I. R. G. Análise espacial da concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) em águas subterrâneas da região norte do Piauí. **Revista Equador**, v. 4, n. 4, p. 67-80, 2015.

NEGESE, S. A.; KEBEDE, H. H. Performance evaluation of water supply distribution system: a case study of Muke Turi town, Oromia region, Ethiopia. **Water Practice & Technology**, v. 18, n. 10, p. 2211–2222, 2023.

- NERES, L. B. R. Avaliação físico-química básica da água consumida pela população urbana do município de Parnamirim/RN. **HOLOS**, v. 5, p. 145-153, 2010.
- OLIVEIRA, A. F, RODRIGUES, R. B.; SILVA, M. E. C.; MARTINS, J. P. F. Avaliação da contaminação de nitrato e Escherichia coli em água subterrânea no município de Carapicuíba (SP). **Health Science Institute**, v. 38, n. 2, p. 107-116, 2020.
- OLIVEIRA, B. P. P. **Hidroquímica e caracterização isotópica (87sr/86sr) dos sistemas aquíferos Barreiras e Pirabas nos municípios de São Francisco do Pará e Igarapé-Açu, nordeste do Pará**. 2019. Dissertação - Universidade Federal do Pará, Belém -PA, 2019.
- OLIVEIRA, C. R. M.; PORTELLA, C. M. M.; GONÇALVES, R. J.; OLIVEIRA, JR. Z. D. Saneamento básico e a relação intrínseca com o desenvolvimento sustentável: um desafio frente à desigualdade socioeconômica na Região Norte. **Meio Ambiente**, v. 3, n. 3, p. 062-074, 2021.
- PAULA, C. L.; BOLAÑOS, C. A. D.; GUERRA, S. T.; RIBEIRO, M. G. Principais patógenos entéricos de origem bacteriana e parasitária, de potencial zoonótico, em gatos domésticos. **Veterinária e Zootecnia** v. 24, n. 3, p. 2178-3764, 2017.
- PINHEIRO, J. V.; MIORANDO, O. S.; LIMA, T. F. Qualidade da água para consumo humano em dois sistemas de abastecimento público do município de Oriximiná-PA, Brasil. **SciELO Preprints**, 2023.
- PIRES, W. D. F. **Gestão de Riscos em Sistemas de Abastecimento de Água – Uma Abordagem**. 2020, Porto (Portugal). Dissertação - Universidade do Porto.
- REIS, F.; AMADO, F.; BENVENUTI, T. Qualidade da água de abastecimento e fatores de risco à saúde na comunidade de Maria Jape em Ilhéus, Bahia. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 60, n. 1, p. 326-347, mar. 2023.
- REZENDE, C. R.; CAMPOS, J. C. V.; MELO, V. S. R.; MACHADO, C. S.; SENHUK, A. P. M. S.; FERREIRA, D. C. Qualidade da água subterrânea na área urbana de Uberaba-MG: avaliação de risco à saúde. **Scientia Plena**, v.19, n. 2, 2023.
- RIBEIRO, L. C. Q.; NORONHA, J. C.; RODRIGUES, J. M.; OLIVEIRA, R. A. D. **Metrópole e pandemia: presente e futuro**. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2022.
- ROCHA, T. S.; RIBEIRO, H. M. C. Caracterização do sistema de abastecimento de água da comunidade São Francisco de Irituia, Irituia - PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 5, p. 2410–2419, 2023.
- RODRIGUES, A. L. A.; BUENO, S. M. Análise físico-química e microbiológica de água potável em diferentes pontos de coleta da cidade de São José do Rio Preto-SP. **Revista Científica Unilago**, v. 1, n. 1, 2019.
- ROSA, M. C. V. S.; UCKER, F. E. Influência do lençol freático na condutividade elétrica e PH em cemitério. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 1, 2019.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de Pesquisa**. Rio Grande do Sul: Grupo A, 2013.

SANTOS, E. O.; MEDEIROS, P. R. P. Anthropogenic Action and the Eutrophication Process in the Paraíba do Meio River. **Sociedade & Natureza**, v. 35, n. 1, 2023.

SANTOS, S. S.; MACIEL, F. B.; SABINO, W. S. J. C.; MACIEL, J. B. Populações “das Águas”: Ambiente-Saúde na perspectiva da Determinação Social e da Política de Saúde região do Baixo Amazonas -PA. **Ciência e Saúde Coletiva**, nov/2023.

SANTOS, T. L.; CUNHA, C. V.; CAMPOS, A. C. V.; SANTOS, S. C. Qualidade microbiológica da água para consumo humano em comunidades ribeirinhas de Itupiranga-PA, Brasil. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 4, p. 9005-9020, 2020.

SETUR - Secretária de Estado de Turismo do Pará. **Inventário da oferta turística do município de Irituia – PA**. Belém, 2016.

SILVA, C. R.; SANCHES, M. S.; MILHIM, B. H. G. A.; ROCHA, S. P. D.; PELAYO, J. S. Avaliação da presença e quantificação de coliformes totais e *Escherichia coli* em amostras de água destinada ao consumo humano proveniente de poços artesianos. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 40, n. 2, p. 129-140, 2019.

SILVA, J. C.; SOARES, E. A.; CORTEZ, S. A. M. Avaliação da qualidade da água em área de preservação permanente pela obtenção do IQA. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 22988–22997, 2022.

SILVA, L. C.; LOPES, G. F.; BENINI, S. M. Considerações sobre o tratamento da água e esgoto na cidade contemporânea. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 14, n. 33, 2021.

SILVA, O. J. I.; LEITE, A. F.; MORAIS, de S. C. Apropriação social da água nas comunidades rurais do semiárido: os desafios da governança. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 19, n. 2, 2023.

SILVA, R. R.; SANTOS, J. C. V.; SILVA, Y. A.; PAIVA, S. C.; SARUBBO, L. A.; LUNA, J. M. Avaliação da qualidade microbiológica e físico-química da água de um trecho do Rio Capibaribe, no município de São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, 2021.

SIMÕES, M. C.; ALMEIDA, H. P.; SOUSA, B. S.; PIMENTEL, E. N. B.; ROCHA, I. C.; SILVA, M. G. da. et al. Avaliação físico-química da qualidade da água de propriedades rurais do município de Santa Bárbara, Pará. **Biota Amazônia**, v. 12, n. 1, 2022.

TAVARES, L. C.; ALMEIDA, I. R.; DIAS, É. C.; TEIXEIRA, L. G.; FERNANDES, L. L. Avaliação da qualidade da água de abastecimento do campus saúde da cidade universitária José da Silveira Netto, Belém, Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 8, p. 11392–11404, 2019.

VASCONCELOS, M. B.; CAJAZEIRAS, C. C. D. A.; SOUSA, R. R. D. Aplicação da condutividade elétrica da água nos estudos hidrogeológicos da região Nordeste do Brasil. In: **Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**; Foz do Iguaçu. p. 1-10, 2019.

VIEIRA, V. C.; COSTA, C. T. F.; TAVARES, P. R. L.; SOUZA, R. B. Investigação da qualidade das águas situadas nas nascentes da chapada do Araripe através da análise de correlação entre os parâmetros físico, químicos e biológicos. **Revista Científica Multidisciplinar** v. 4, n. 9, p. e494118, 2023.

VON SPERLING M. **Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007.