



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Avaliação Físico-Química e Microbiológica da Água Subterrânea da Bacia Igarapé Tancredo Neves em Porto Velho- Rondônia

Lais Helena Torgeski dos Santos¹, Eliomar Pereira da Silva Filho²

¹ Graduada em Licenciatura em Química pela Fundação Universidade Federal de Rondônia. Discente do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Campus Porto Velho, E-mail: laishtorgeski@gmail.com
Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-3480-8048>

² Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Campus Porto Velho, Mestrado em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1992) e Doutorado em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual de São Paulo (2009). Atualmente é Professor Titular da Fundação Universidade Federal de Rondônia. E-mail: eliomarfilho@uol.com.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6271-8435>

Artigo recebido em 22/02/2024 e aceito em 28/11/2024

RESUMO

A crescente preocupação com a qualidade da água potável, essencial para a saúde humana, motivou este estudo, que se concentrou na avaliação da qualidade das águas subterrâneas na Bacia do Igarapé Tancredo Neves, em Porto Velho. Este recurso, amplamente utilizado para consumo humano, exige monitoramento constante para garantir sua potabilidade, conforme os padrões estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº. 05/2017 do Ministério da Saúde. O estudo analisou 70 amostras de poços amazônicos e artesianos, coletadas durante os períodos de estiagem e de chuvas em 12 bairros da região. Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram avaliados para detectar possíveis contaminações e desvios dos padrões de qualidade. Os resultados evidenciaram a precariedade do saneamento básico em Porto Velho, refletindo na contaminação da água subterrânea. Em 61,43% das amostras, os valores de pH estavam fora do limite recomendado, enquanto a contaminação bacteriológica foi confirmada em 30 amostras, sendo que apenas cinco amostras do período chuvoso e dez da estiagem testaram negativo para contaminação. Conclui-se que as águas subterrâneas da Bacia do Igarapé Tancredo Neves apresentam desafios sérios de qualidade, com elevados níveis de contaminação microbiológica e alterações físico-químicas, exigindo ações urgentes para melhorar o saneamento básico e a preservação ambiental.

Palavras-chaves: Parâmetros de qualidade; Potabilidade; Contaminação.

Physicochemical and Microbiological Evaluation of Groundwater from the Igarapé Tancredo Neves Basin in Porto Velho, Rondônia

ABSTRACT

The growing concern with the quality of drinking water, essential for human health, motivated this study, which focused on evaluating the quality of groundwater in the Tancredo Neves Stream Basin, in Porto Velho. This resource, widely used for human consumption, requires constant monitoring to ensure its potability, in accordance with the standards established by Consolidation Ordinance No. 05/2017 of the Ministry of Health. The study analyzed 70 samples from Amazonian and artesian wells, collected during the dry and rainy seasons in 12 neighborhoods of the region. The physical-chemical and microbiological parameters were evaluated to detect potential contaminations and deviations from quality standards. The results revealed the precariousness of the basic sanitation system in Porto Velho, reflected in the contamination of groundwater. In 61.43% of the samples, pH values were outside the recommended limit, while bacteriological contamination was confirmed in 30 samples, with only five samples from the rainy season and ten from the dry season testing negative for contamination. It is concluded that the groundwater in the Tancredo Neves Stream Basin presents serious quality challenges, with high levels of microbiological contamination and physical-chemical alterations, requiring urgent actions to improve basic sanitation and environmental preservation.

Keywords: Quality parameters; Potability; Contamination.

Introdução

O crescente descaso com o saneamento básico no Brasil, especialmente em cidades de médio e grande porte, tem provocado preocupações quanto à qualidade da água subterrânea, recurso essencial para o consumo humano em regiões sem acesso a sistemas de abastecimento adequados. De acordo com o mais recente relatório do Instituto Trata Brasil, a cobertura de saneamento básico em Porto Velho caiu drasticamente, com o percentual de esgoto tratado caindo de 4,76% em 2020 para 0% em 2023 (Brasil, 2023). Este dado alarmante reflete a incapacidade de infraestrutura pública em acompanhar o crescimento urbano e a expansão desordenada da cidade, agravando a contaminação das águas subterrâneas.

Diversos estudos recentes apontam para a importância de monitorar as águas subterrâneas em áreas de expansão urbana. Pesquisas como as de Costa et al. (2019) e Oliveira et al. (2021) demonstraram que a ausência de sistemas de esgotamento sanitário e o uso extensivo de fossas sépticas em regiões periféricas estão diretamente relacionados ao aumento da contaminação por nitratos e coliformes fecais nas águas subterrâneas. No contexto amazônico, onde Porto Velho se insere, a problemática é ainda mais severa devido às condições naturais e à falta de um planejamento urbano adequado.

A Bacia Igarapé Tancredo Neves, foco deste estudo, engloba 12 bairros da cidade de Porto Velho, onde são evidentes os impactos causados pela falta de saneamento e pela urbanização desordenada. A análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas subterrâneas, seguindo os padrões estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 05/2017 do Ministério da Saúde, revelou deficiências severas na qualidade da água, com altos níveis de contaminação bacteriológica. Essas constatações refletem um problema amplamente documentado por autores como Silva e Oliveira (2022), que indicam que a expansão das áreas urbanas sem o acompanhamento de infraestrutura básica pode levar a contaminações permanentes dos aquíferos.

Estudos como o de Pereira et al. (2020) reforçam a importância de analisar a geologia e a geomorfologia locais na determinação da vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação. A interação entre a dinâmica hídrica e as

características físicas do solo na Bacia Igarapé Tancredo Neves é um fator crucial para compreender os impactos do adensamento populacional e da ocupação desordenada sobre a qualidade das águas subterrâneas. O objetivo central deste trabalho é justamente analisar essas interações e propor soluções que possam mitigar os impactos causados pela falta de planejamento urbano, garantindo assim a preservação das fontes de água potável para as futuras gerações.

Bahia (1997) foi pioneira na realização de análises de água em Porto Velho, ressaltando a importância de monitorar continuamente a qualidade da água subterrânea em áreas densamente povoadas. Este estudo busca continuar esse legado, aprofundando a investigação sobre as condições atuais das águas subterrâneas na Bacia Igarapé Tancredo Neves, utilizando métodos atualizados e integrando novos conhecimentos sobre o impacto antrópico em ambientes urbanos.

Material e métodos

As análises laboratoriais foram realizadas em duas etapas, em 70 pontos de coleta, especializados na Bacia Igarapé Tancredo Neves, de acordo com a imagem (Figura 1), sendo a primeira feita na “época de cheia” ou período chuvoso da região no Laboratório de Microbiologia da Central Analítica da Fundação Universidade Federal de Rondônia, Campus de Porto Velho – RO ocorreu entre os meses de fevereiro a abril de 2018. E a segunda etapa, em pontos distintos dentro da área de estudo, realizada de julho a outubro “época da seca” ou período de estiagem nos laboratórios de Química Geral e Inorgânica, de Físico-química e no laboratório de microbiologia do Instituto Federal de Rondônia – IFRO, Campus Porto Velho Calama. A qualidade da água foi analisada a partir dos parâmetros físicos, químicos e biológicos.

Outro estudo realizado por Baia et al. (2022) examinaram 74 poços na cidade de Porto Velho, em março (34), agosto (16) e novembro (24) de 2018 para representar a estação chuvosa, a estação seca e o período de transição entre as estações, respectivamente. Os locais de amostragem foram diferentes a cada mês.

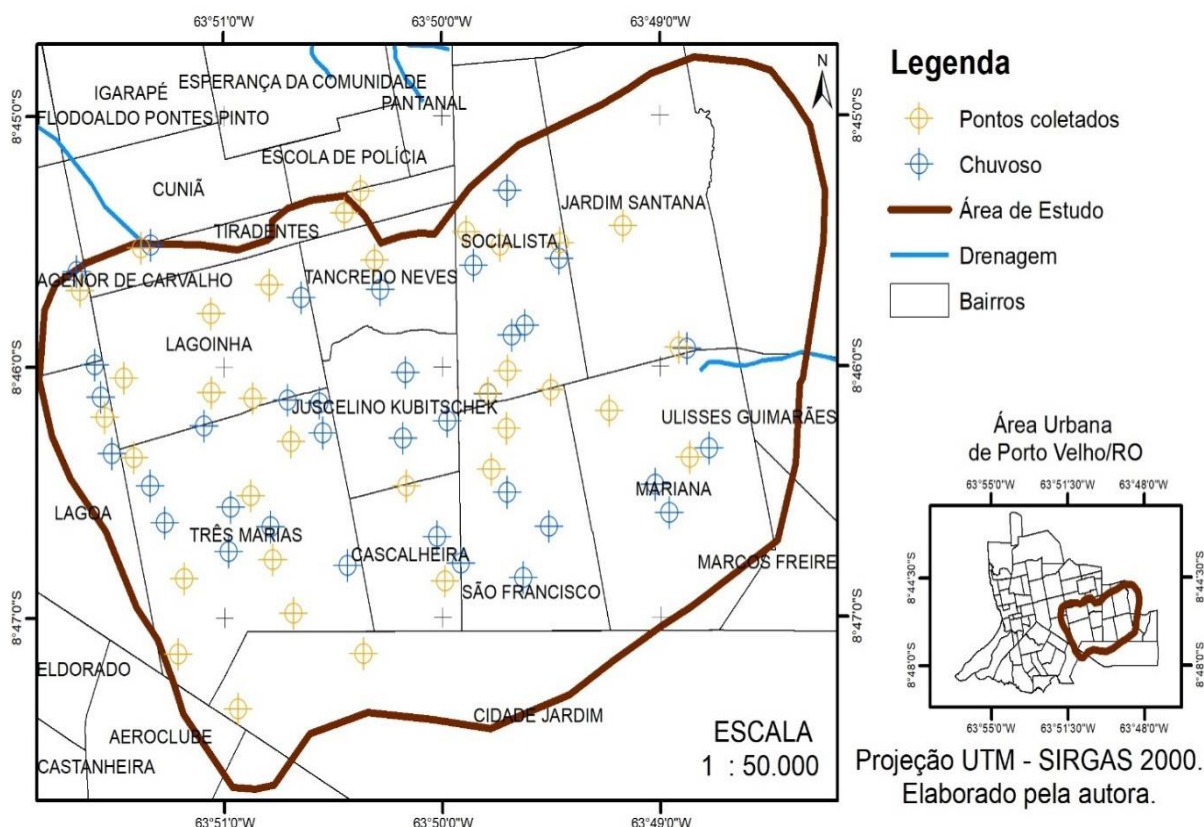


Figura 1- Localização da Área de Estudo e dos Pontos de coleta de água na Bacia Igarapé Tancredo Neves no período chuvoso e no período de estiagem

Para a análise dos parâmetros físicos, foram considerados a condutividade elétrica e a cor. O padrão de cor foi estabelecido pela **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**, que regulamenta as normas sobre ações e serviços de saúde no Brasil (Ministério da Saúde, 2017). Já a condutividade elétrica segue as diretrizes

estabelecidas pela **Resolução CONAMA nº 396/2008**, que define os critérios e padrões para a classificação das águas subterrâneas no país (Conselho Nacional do Meio Ambiente [CONAMA], 2008). Ambos os parâmetros estão indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Métodos de Análise e Limite Legal dos Parâmetros Físicos

VARIÁVEL	UNID	LIMITE LEGAL	MÉTODO DE ANÁLISE	INSTRUMENTO DE MEDIDA
COR	mg. L ⁻¹ Pt/Co	15 mg. L ⁻¹ Pt/Co	Comparação Visual – Reagente Padrão	ALFAKIT
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	µS/cm ⁻¹	100 µS/cm	Condutivímetro	MCA 150

Os parâmetros para a análise química das amostras foram realizados considerando os critérios químicos descritos na Tabela 2, apresentados a seguir. Esses padrões estão estabelecidos pela Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, que regulamenta as

normas sobre ações e serviços de saúde no Brasil (Ministério da Saúde, 2017). Os parâmetros analisados incluem pH, ferro, cloro livre, cloreto, nitrato, nitrito, dureza, amônia, alcalinidade e oxigênio dissolvido.

Tabela 2 - Métodos de Análise e Limite Legal dos Parâmetros Químicos

VARIÁVEL	UNIDADE	LIMITE LEGAL	MÉTODO DE ANÁLISE	INSTRUMENTO DE MEDIDA
pH	-	6,0 a 9,0	Indicador	ALFAKIT
Ferro _{total}	mg/L Fe _{total}	0,3	Ácido tioglicólico	ALFAKIT
Cloro _{livre}	mg/L	5	DPD	ALFAKIT
Cloreto	mg/L Cl	250	Titulação argentimétrica e NTD	ALFAKIT
Nitrato	mg/L NO ₃	10	Espectofotômetro e NTD	ALFAKIT
Nitrito	mg/L NO ₂	1	Espectofotômetro e NTD	ALFAKIT
Dureza _{total}	mg/L CaCO ₃	500	Titulação de complexação	ALFAKIT
Amônia	mg/L N-NH ₃	1,5	Azul de indofenol	ALFAKIT
Alcalinidade	mg/L CaCO ₃	125	Titulação de Neutralização	ALFAKIT
Oxigênio dissolvido	mg/L de O ₂	2,0 a 5,0	Método de permanganato de potássio (colorimétrico)	ALFAKIT

Para avaliar os parâmetros microbiológicos, seguimos as diretrizes do Manual Prático de Análise de Água da FUNASA (2013), e interpretamos os resultados conforme os protocolos do *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Association, A. P. H., 2005). As análises microbiológicas foram feitas usando uma série de diluições contendo 10 tubos de diluição única (CETESB, 2017).

Para investigar a presença de Coliformes totais e E.coli, utilizamos o método do Número Mais Provável (NMP). Nele, 10 mL de cada diluição foram adicionados a dez tubos de ensaio contendo 10 mL de caldo Lauril Sulfato Triptose (LST) em concentração dupla, com o tubo de Durhan invertido (considerado um teste presuntivo), que é usado para indicar a possível presença dessas bactérias na amostra, com base em sinais como turvação e produção de gás, mas a confirmação final é feita por testes subsequentes. Os tubos foram incubados a 35°C por 24-48 horas. Após a incubação, os tubos que apresentaram sinais de crescimento (turvação e produção de gás) foram submetidos a testes adicionais para confirmar a presença de coliformes totais, usando caldo Verde Brilhante (VB) a 35°C por 24-48 horas, e coliformes termotolerantes, usando caldo Escherichia coli (EC) a 45,5°C por 24 horas.

Para confirmar os resultados positivos, foi seguido um procedimento em que o número de tubos com formação de gás no tubo de Durhan foi contado. Em seguida, o mesmo número de tubos contendo meio de cultura verde brilhante bile a 2% foi preparado para a repicagem. Usando uma alça de platina previamente esterilizada, uma porção da amostra foi retirada de cada tubo positivo e inoculada nos respectivos tubos contendo o meio verde brilhante. Após a identificação dos tubos, eles foram incubados em uma estufa microbiológica a 35±0,5°C por 24 a 48 horas. Se, ao final deste período, houvesse formação de gás nos tubos de Durhan, o teste era considerado positivo. Se não houvesse formação de gás, o teste era considerado negativo.

No teste de E. coli, durante o processo de repicagem com a alça de platina previamente esterilizada e resfriada, uma amostra foi retirada de cada tubo positivo e inoculada em um tubo correspondente contendo o caldo EC para teste de Escherichia coli. O mesmo número de tubos positivos no caldo Lauril Triptose (primeira etapa) foi usado. Após a identificação dos tubos, as amostras foram incubadas em banho-maria a 44,5 ± 0,2°C por 24 ± 2 horas. Para resultados positivos, foi observada a formação de gás e a aparência leitosa (fermentação).

Resultados e discussões

A composição química da água subterrânea depende, dentre outros fatores, da infiltração da água do solo e das reações biogeoquímicas.

O conhecimento desses procedimentos é essencial para compreender os processos físico-químicos e bioquímicos que são fundamentais para a utilização dessas águas.

Considerando essa perspectiva, dois parâmetros físicos que estão intimamente relacionados, devido à sua natureza visível, são diretamente afetados: cor e turbidez. Estudos recentes conceituam a turbidez como um fator crítico influenciado por múltiplos elementos, incluindo sedimentos suspensos, materiais inorgânicos e matéria orgânica. Essas partículas afetam significativamente a transparência da água, impactando a clareza dos ecossistemas aquáticos, o que traz implicações tanto para o consumo humano quanto para a saúde ambiental. Perturbações como o desmatamento, a agricultura e a urbanização agravam os níveis de turbidez ao introduzir sedimentos e outras poluentes nos sistemas hídricos (Sahoo & Anandhi, 2023).

Embora o parâmetro de turbidez não tenha sido diretamente avaliado em Porto Velho, Bahia (1997) relata que resultados alterados geralmente ocorrem devido à má construção dos poços. Laureano et al. (2020) também observaram na microbacia do Igarapé Nazaré, em Ji-Paraná, que poços com infraestrutura inadequada, especialmente os rasos, estavam fortemente contaminados por coliformes, indicando que a construção precária dos poços amazônicos influencia diretamente a qualidade da água subterrânea.

Em uma ocupação em Vista Alegre do Juá, no município de Santarém, Pará, dois dos três poços analisados apresentaram alterações no parâmetro de turbidez. Essas alterações podem estar relacionadas à falta de limpeza e manutenção na tubulação utilizada para coletar as amostras. Os moradores afirmaram que não realizam regularmente a higienização do local de captação (Melo et al., 2022). Um valor alterado na turbidez não representa um risco direto à saúde humana, mas pode dificultar o tratamento de desinfecção dos microrganismos, como observado em poços mal construídos na microbacia do Igarapé Nazaré, Rondônia (Laureano et al., 2020).

No entanto, de acordo com Alexakis (2024), em um estudo realizado na Grécia, e Manea et al. (2021), em uma pesquisa conduzida na Romênia, a contaminação das águas subterrâneas por metais pesados, compostos orgânicos e

radionuclídeos representa um grave risco à saúde pública, especialmente em áreas afetadas por atividades agrícolas e industriais. Esses contaminantes podem persistir no solo e nos aquíferos por longos períodos, aumentando o risco de doenças graves, como câncer e danos a órgãos, devido à exposição prolongada.

Já a condutividade elétrica é a medida da concentração total de sais presentes e dissolvidos na água, no período de estiagem, quatro amostras tiveram valores acima de $100,0 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$, sendo elas a 37, a 41, 57 e 58. Indicando alguma correlação com impacto ambiental provocado por contaminação de matéria orgânica, íons e outros agentes. Valores acima de $100,0 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ sofrem algum tipo de impacto ambiental e presença de matéria orgânica, íons e outros agentes externos (CETESB, 2017).

As análises dos parâmetros químicos tomaram como padrão os parâmetros expressos pela portaria de Consolidação nº. 05/2017 do Ministério da Saúde. O pH desempenha um papel crucial na determinação da qualidade da água destinada ao consumo humano. Das 70 amostras analisadas, 43 amostras se encontraram fora do limite legal permitido, pois, apresentaram resultados que caracterizam um pH ácido, abaixo do valor recomendado evidenciado no Gráfico 1. Laureano et al. (2020) observaram resultados semelhantes na microbacia do Igarapé Nazaré, onde a maioria dos poços analisados também apresentava níveis de pH abaixo do recomendado para consumo. A avaliação dos parâmetros físico-químicos em Juína, MT, demonstrou que, embora a maioria estivesse dentro dos limites estabelecidos pela Portaria MS nº 05/2017, os valores de pH mostraram que a água era ácida, tornando-a imprópria para o consumo humano (Manochio, Silva, & Gomes, 2021).

Nos cinco municípios do Acre: Plácido de Castro, Porto Acre, Rio Branco e Senador Guimard e Sena Madureira, cerca de 75% das amostras obtiveram pH abaixo do recomendado também, ou seja, de caráter ácido (Oliveira Franco et al., 2020). Entre os poços analisados em Jaru, RO, apenas 16,7% apresentaram resultados dentro dos padrões com relação ao pH, o que se deve às características do solo da região (Junior et al., 2020).

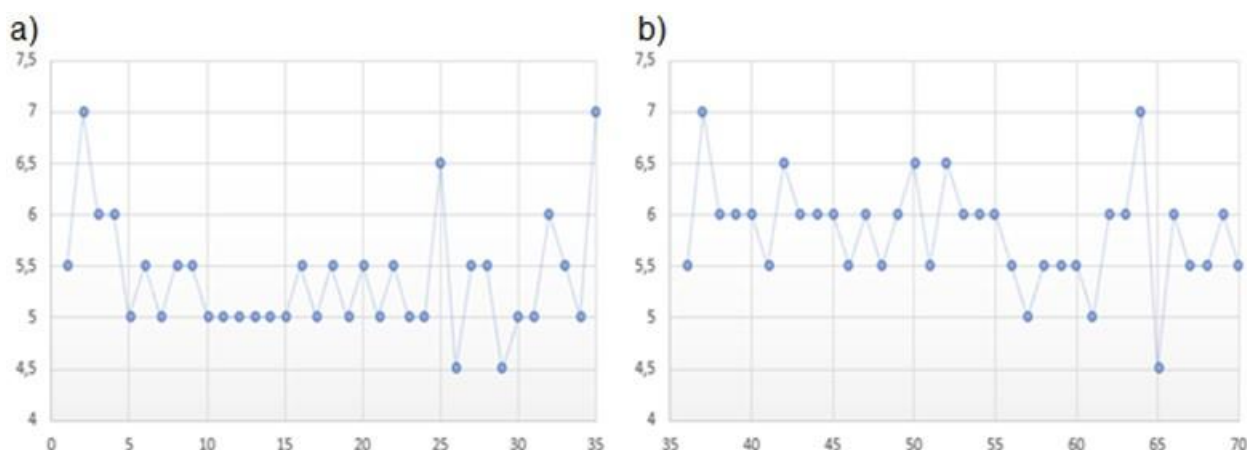
Embora o estudo realizado no Lago Preto, em Lábrea-AM, tenha analisado a qualidade da água de um lago, o parâmetro de pH pode ser correlacionado com as análises de água subterrânea, como as realizadas em Porto Velho. Santos et al. (2023a) observaram variações no pH

devido ao lançamento de esgoto doméstico, o que comprometeu a qualidade da água. De maneira similar, as águas de poços podem sofrer impactos de atividades humanas, apresentando variações no pH que afetam sua potabilidade e qualidade para consumo.

Para Funasa (2013), a faixa de pH entre 5,2 e 6,8 é ideal para o desenvolvimento da *Escherichia coli*, bactéria pertencente ao grupo dos coliformes fecais.

Apesar da conformidade geral dos parâmetros físico-químicos com os limites legais, o pH ácido das amostras em Juína, MT, indica a necessidade de tratamento antes do consumo, como relatado por Manochio, Silva, & Gomes (2021), que também identificaram a acidez da água em várias amostras de poços subterrâneos como uma preocupação significativa para a saúde pública.

Gráfico 1 - Resultado de pH a) Período chuvoso b) Período de estiagem.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Ao todo, no período chuvoso as amostras se apresentaram mais ácidas e no período de estiagem, as amostras obtiveram resultados com valores de pH mais elevados, quando comparado um período com o outro.

No trabalho realizado em Vista Alegre do Juá, Santarém, Melo et al. (2022) observaram que as propriedades físico-químicas das amostras coletadas nos poços foram influenciadas pelo período chuvoso e pelo desmatamento recente na área de ocupação.

Segundo a portaria de Consolidação n°. 05/2017 do Ministério da Saúde o valor máximo permitido de nitrato é de 10 mg/L. Em 18.57% das amostras analisadas foram encontrados resultados insatisfatórios.

Na ocupação de Vista Alegre do Juá, Santarém, os níveis de nitrato encontrados foram sete vezes superiores ao permitido pela legislação, e esses valores possivelmente estão relacionados ao desmatamento recente na área para a instalação de moradias, conforme apontado por Melo et al. (2022).

Manea et al. (2021), em um estudo realizado na Romênia, também identificaram níveis elevados de nitrato em áreas próximas a

atividades agrícolas e industriais, associando esses valores a um risco aumentado de contaminação das águas subterrâneas. Assim como observado em Santarém, a persistência de nitratos nos aquíferos romenos ressalta a importância do monitoramento contínuo para evitar a exposição prolongada a esses compostos, que pode resultar em sérios riscos à saúde.

No Arquipélago de Marajó, foi detectada a presença de nitrato em níveis preocupantes, associados a práticas agrícolas e manejo inadequado dos resíduos humanos (Lima et al., 2023).

O estudo de revisão de várias regiões do Brasil e do mundo por Maiara da Fonseca Santos & Aguilar da Silva (2021) forneceu uma visão geral da contaminação das águas subterrâneas por nitrato numa escala regional e global, destacando a importância da determinação das concentrações desse composto nos mananciais. Monitoramentos regulares são essenciais para identificar o avanço da contaminação.

Alexakis (2024) destaca que, embora a água subterrânea seja comumente preferida para consumo por exigir menos tratamento do que a água superficial, ela ainda apresenta riscos

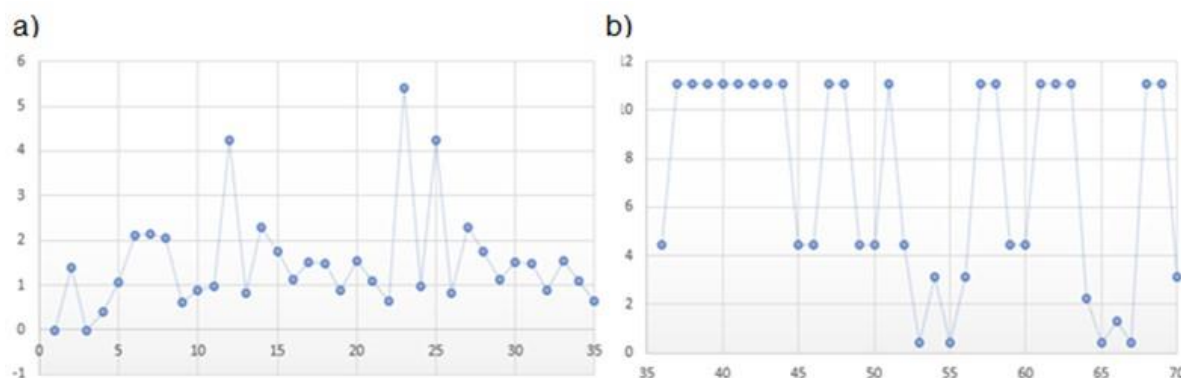
consideráveis à saúde pública. Contaminantes como metais pesados e compostos orgânicos podem se acumular no solo e persistir nos aquíferos por longos períodos. Isso resulta em sérios riscos à saúde, incluindo o aumento das chances de câncer e danos a órgãos, especialmente em populações que são expostas de maneira prolongada a essas substâncias.

Na região metropolitana de Belo Horizonte, Souza-Silva et al. (2023) identificaram

que, em 13% das amostras analisadas, os níveis de nitrato ultrapassavam 10 mg/L de $\text{NO}_3\text{-N}$, e aproximadamente 7% das amostras apresentavam valores próximos a esse limite.

Os resultados deste trabalho para nitrato apresentaram valor de 11,07mg/L NO_3 em todas as amostras supracitadas, no Gráfico 2 apresentam os resultados mencionados.

Gráfico 2 - Resultados de nitrato (NO_3) a) Período chuvoso b) Período de estiagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Esse resultado pode ser justificado já que as concentrações ficam mais concentradas, pois o período chuvoso pode provocar diluição das concentrações, neste caso do nitrato.

No estudo de Melo et al. (2022), os níveis elevados de nitrato foram atribuídos à decomposição da matéria orgânica das raízes de árvores, causada pelo desmatamento na região, que é uma área de ocupação localizada na Amazônia Ocidental, no Pará.

As principais fontes de contaminação por nitrato nas águas subterrâneas são atividades humanas, excrementos de animais, fertilizantes nitrogenados e efluentes domésticos. A aplicação de dejetos animais como fertilizante é comum em muitos países e contribui para a contaminação por nitrato. Em países desenvolvidos, a contaminação é principalmente difusa devido a práticas agrícolas, enquanto em países subdesenvolvidos, é mais comum por fontes pontuais devido à disposição inadequada de resíduos industriais e domésticos (Maiara da Fonseca Santos & Aguilar da Silva, 2021).

De acordo com Libos, Pinheiro e Girardi (2023), o estudo analisou a qualidade da água em função de diversos parâmetros, incluindo a presença de nutrientes como nitrato. No contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, em Santa Catarina, um dos fatores associados aos níveis

elevados de nitrato foi a influência de atividades humanas, como o lançamento de efluentes domésticos e agrícolas, além de descargas de fontes difusas. Isso se alinha com o que foi mencionado sobre as principais fontes de contaminação por nitrato, como fertilizantes nitrogenados e esgoto doméstico, particularmente em regiões onde há intenso uso de fertilizantes.

Maiara da Fonseca Santos & Aguilar da Silva (2021) mencionam estudos que correlacionaram a contaminação por nitrato a diferentes fontes de poluição. O México foi mencionado como tendo contaminação por atividades agrícolas e águas residuais domésticas. Na Polônia, valores elevados de nitrato foram encontrados, principalmente devido à agricultura e ao manejo inadequado de esgoto. Na China, a contaminação por nitratos em Zhongning foi relacionada a fatores antropogênicos, especialmente devido à dependência rural das águas subterrâneas. Em Portugal e na França, a contaminação por nitrato foi associada ao cultivo de plantações e ao uso de fertilizantes.

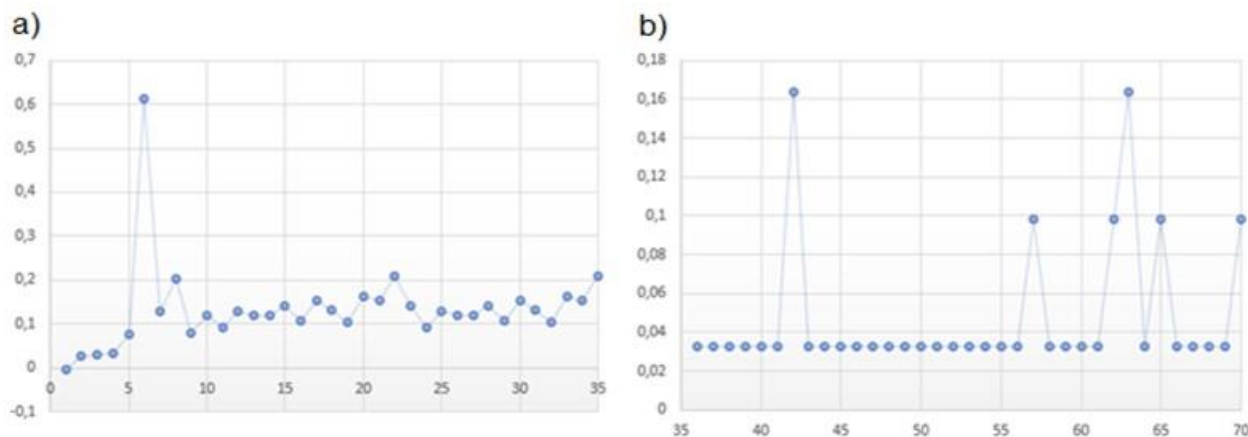
Desta forma, podemos inferir dos resultados obtidos 57 amostras em conformidade com o VMP estabelecido pelo documento regulador, o que corresponde a um percentual 81,43%.

De acordo com os resultados obtidos as

amostras apresentaram concentrações abaixo do valor máximo permitido entre 0,0328 a 0,61336mg/L NO₂ conforme o Gráfico 3. Desta forma, as amostras analisadas em estão

conformidade com portaria de Consolidação n°. 05/2017 do Ministério da Saúde, já que ela determina que o ideal é de concentrações abaixo de 1 mg/L.

Gráfico 3 - Resultado de nitrito (NO₂) a) Período chuvoso b) Período de estiagem.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2021).

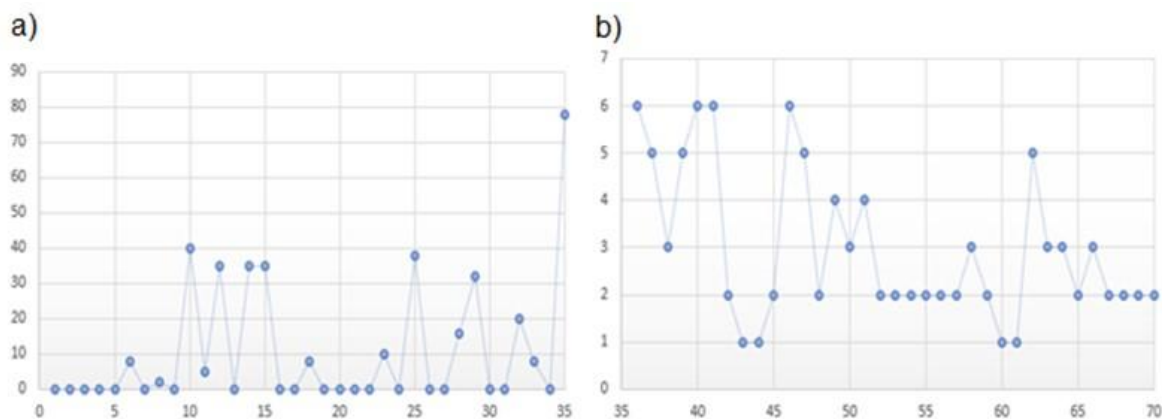
Os compostos nitrogenados, como o nitrito e o nitrato, estão frequentemente presentes em águas subterrâneas contaminadas, resultado de práticas agrícolas intensivas e do lançamento de efluentes domésticos. Esses compostos são particularmente preocupantes devido aos seus efeitos na saúde. O nitrito, por exemplo, é conhecido por agir rapidamente no organismo e pode causar a metemoglobinemia, ou "síndrome do bebê azul", afetando principalmente crianças, mas com potenciais efeitos adversos em todas as idades (Santos & Silva, 2021). Além disso, a exposição contínua a compostos nitrogenados tem sido associada à formação de nitrosaminas e nitrosamidas, substâncias potencialmente carcinogênicas que podem aumentar o risco de câncer gástrico (Santos & Silva, 2021). Estudos como os realizados na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, em Santa Catarina, reforçam essa preocupação, ligando os níveis elevados de nitrito à contaminação resultante de práticas agrícolas e urbanas inadequadas (Libos, Pinheiro & Girardi, 2023). Adicionalmente, a presença de sais de magnésio e cálcio em excesso — responsáveis pela dureza da água — também é comum em áreas de

atividade agrícola intensa, podendo afetar tanto o gosto quanto a potabilidade da água (Libos, Pinheiro & Girardi, 2023). Esses resultados são consistentes com as descobertas de Oliveira Franco et al. (2020), que destacaram a contaminação por nitrato em poços do Acre, agravada pelo uso inadequado de fertilizantes agrícolas e pela ausência de saneamento básico.

No Gráfico 4, os resultados são demonstrados os resultados são espacializados ao longo da Bacia.

Todas as amostras apresentaram valores abaixo do limite máximo permitido para dureza da água, resultando em uma conformidade de 100% para esse parâmetro. É importante destacar que, embora a dureza da água possa afetar sua aceitação sensorial para consumo humano, ela não implica necessariamente em riscos diretos à saúde. De acordo com Libos, Pinheiro e Girardi (2023), no estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, foi observado que, embora a dureza da água afete a qualidade sensorial, os valores permaneceram em conformidade com os padrões regulatórios, sem representar riscos diretos à saúde.

Gráfico 4 - Resultados de dureza a) Período chuvoso b) Período de estiagem.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2021).

No estudo de Oliveira Franco et al. (2020) realizado no Acre, o parâmetro de dureza também se manteve dentro dos limites exigidos pelas normas. Em Juína, MT, os resultados de condutividade elétrica e dureza total indicaram que os poços possuíam níveis adequados desses parâmetros, sugerindo que a concentração de minerais na água estava dentro do esperado para abastecimento (Manochio et al., 2021).

Em Rolim de Moura do Guaporé, Rondônia, o pH das amostras indicou características ácidas em 85,7% dos poços analisados, com valores abaixo do recomendado pela Portaria 2.914/2011. A condutividade variou de 21,8 a 112,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sugerindo leve poluição em algumas amostras, enquanto os níveis de nitrato e nitrito permaneceram dentro dos limites permitidos (da Cunha et al., 2020).

No estudo de Muniz et al. (2023), conduzido em Rondônia como parte do Programa QualiÁgua, 81,77% das amostras apresentaram níveis de oxigênio dissolvido entre 5 e 10 mg/L, indicando águas bem oxigenadas. A condutividade elétrica foi predominantemente baixa, com 75,84% das amostras apresentando valores abaixo de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$, refletindo uma baixa concentração de sais minerais, característica de ambientes não impactados. Esses dados sugerem que, embora a qualidade geral da água seja adequada em termos de oxigenação e baixa poluição, as características do pH e a presença de alguns poluentes devem ser monitoradas com mais atenção.

Os testes de coliformes são fundamentais para avaliar a potabilidade da água. Quando coliformes estão presentes, é provável que esgotos domésticos tenham sido despejados na água, indicando a possível presença de microrganismos

patogênicos. Nicácio e Pereira Junior (2019) explicam que a falta de saneamento básico contribui para a proliferação de vetores e doenças, ressaltando que a contaminação de águas subterrâneas é de difícil detecção, uma vez que características sensoriais como odor, sabor e cor geralmente não apresentam alterações significativas. A falta de proteção adequada nos poços, como tampas de madeira e ausência de impermeabilização, além do uso de adubos orgânicos nas proximidades, foram apontados como as principais causas da contaminação microbiológica por excretas humanas e animais (da Cunha et al., 2020).

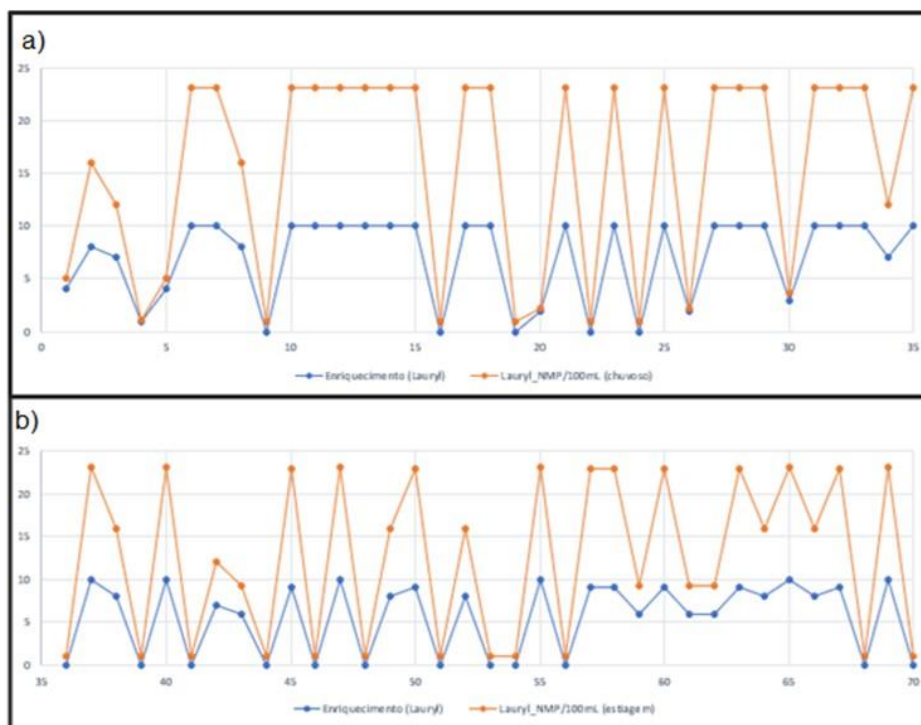
De acordo com Lima et al. (2023), no estudo realizado no Arquipélago de Marajó-PA, a alta contaminação por coliformes em poços domésticos foi observada em grande parte das amostras analisadas, reforçando a vulnerabilidade também das comunidades rurais que dependem dessas águas subterrâneas.

Bahia (1997) já relatava a possível contaminação do aquífero, e esse impacto antrópico é particularmente evidente em áreas urbanas como a cidade de Porto Velho, onde a densidade populacional e as atividades humanas podem aumentar o risco de contaminação das águas subterrâneas.

No período chuvoso, de 35 amostras analisadas, apenas cinco apresentaram resultados negativos para contaminação microbiológica. No período de estiagem, dez amostras obtiveram resultados negativos para contaminação microbiológica. Esses resultados podem ser comparados conforme apresentado no Gráfico 5: a) Resultados de Coliformes Totais no período chuvoso e b) Resultados de Coliformes Totais no

período de estiagem.

Gráfico 5 - Resultado de Coliformes Totais a) Período chuvoso b) Período de estiagem. Fonte:



Elaborado pelo próprio autor (2021).

Esses resultados reforçam a urgência da implementação de medidas de saneamento básico em Porto Velho, especialmente diante do elevado número de esgotos a céu aberto e fossas que contribuem para a contaminação microbiológica. Em Jaru, RO, 83,3% dos poços apresentaram valores de coliformes totais acima do permitido pela Portaria 2914 do Ministério da Saúde, o que representa um risco significativo à saúde pública

(Junior et al., 2020). Ao correlacionar esses dados com o mapa nas Figuras 2 e 3, que espacializam a contaminação durante os períodos chuvoso e de estiagem, é possível obter uma visão mais detalhada das áreas mais afetadas e das variações sazonais. Essa análise geoespacial pode fornecer informações cruciais para orientar políticas públicas e intervenções direcionadas, visando mitigar os impactos da contaminação e melhorar a qualidade ambiental e de vida na cidade.

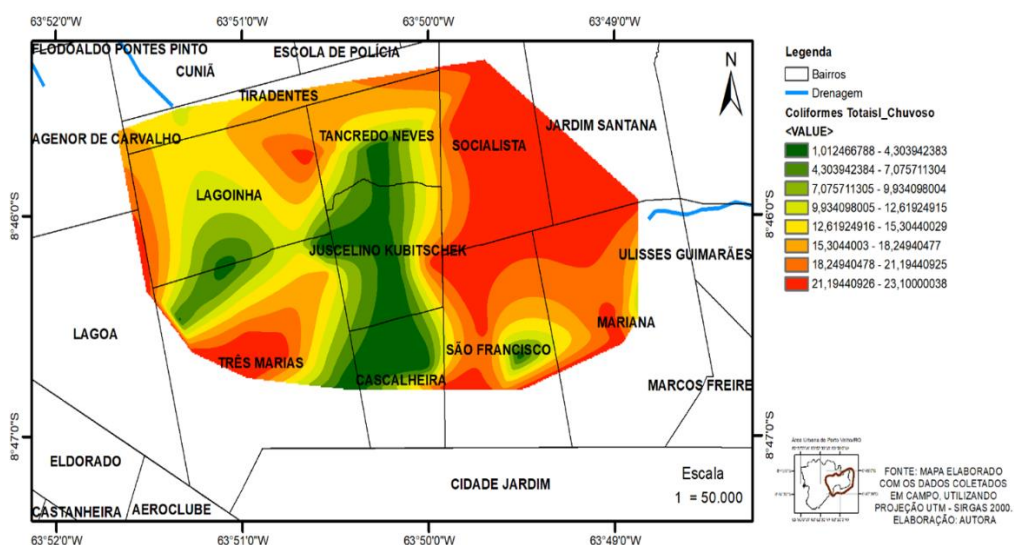


Figura 2- Contaminação por Coliformes Totais no período chuvoso

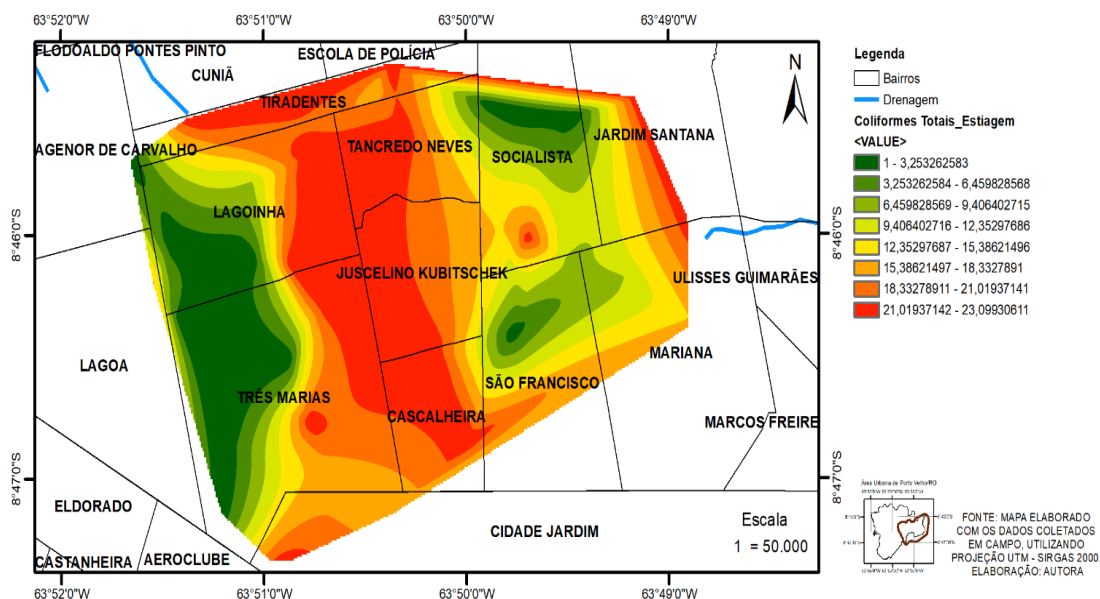


Figura 3- Contaminação por Coliformes Totais no período de estiagem

Com base na Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 a contabilização padrão das bactérias não pode exceder 500 unidades formadoras de colônias por um mililitro de amostra (500/UFC/ml). O gráfico abaixo mostra os resultados de coliformes tolerantes com o caldo VB – Verde Brilhante.

No teste de coliformes termotolerantes, foram observados dez resultados negativos tanto no período chuvoso quanto no período de estiagem, conforme evidenciado no Gráfico 6. Em cada período, foram analisadas 35 amostras.

Podemos constatar que há uma grande contaminação por coliformes termotolerantes, indicando que as águas oriundas da Bacia são impróprias para consumo humano, em sua maior parte. Há uma variação de um período para o outro, em que a chuva pode influenciar algumas regiões, diminuindo as concentrações em locais que no período de estiagem estavam contaminados. Durante a estação seca em Juína, MT, os níveis de concentração de poluentes se elevaram, refletindo uma diminuição no volume de água disponível nos poços, o que pode ter efeitos semelhantes em Porto Velho, exacerbando a contaminação em áreas com menor volume de água subterrânea disponível (Manochio et al., 2021).

Em um estudo realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, Libos, Pinheiro e Girardi (2023) observaram que áreas com maior densidade populacional e infraestrutura inadequada também apresentaram níveis elevados de coliformes, destacando a relação entre a falta de saneamento básico e a qualidade da água.

O estudo conduzido na microbacia do

Igarapé Nazaré em Ji-Paraná (Laureano et al., 2020) aponta que os poços rasos na região apresentaram altos níveis de contaminação microbiológica, principalmente por coliformes totais e *Escherichia coli*, especialmente em poços com pouca profundidade ou mal construídos. Esses achados refletem os problemas observados em Porto Velho, onde a contaminação da água subterrânea também é exacerbada pela infraestrutura inadequada dos poços e proximidade de fossas sépticas, destacando a necessidade de sistemas de saneamento mais robustos.

A alta contaminação por coliformes, detectada em Porto Velho, reflete um padrão semelhante ao encontrado em outras regiões da Amazônia e no Arquipélago de Marajó-PA, onde a falta de saneamento básico é um fator crítico (Lima et al., 2023). Esse padrão está associado à infraestrutura inadequada, como a proximidade de fossas sépticas com poços. No presente estudo, os resultados indicam que a proximidade de fossas sépticas e a infraestrutura inadequada dos poços foram fatores determinantes para a contaminação por coliformes. Situação semelhante foi observada no estudo de Valiatti et al. (2021), que demonstrou que a falta de higienização adequada e a proximidade dos bebedouros com banheiros contribuíram para a contaminação microbiológica, reforçando a importância de intervenções que assegurem a proteção das fontes de água em diferentes contextos.

Esses resultados também são observados em outras regiões de Rondônia. Por exemplo, Ji-Paraná apresentou quatro amostras contaminadas por coliformes termotolerantes, enquanto Ouro

Preto do Oeste apresentou três amostras com essa contaminação, conforme verificado por Rosa et al. (2022). Isso reforça a extensão do problema de contaminação microbiológica em poços escavados em diferentes municípios do estado. Esses resultados enfatizam a urgência da implementação de medidas de saneamento básico em Porto Velho, especialmente diante do elevado número de esgotos a céu aberto e fossas que contribuem para a contaminação por coliformes termotolerantes.

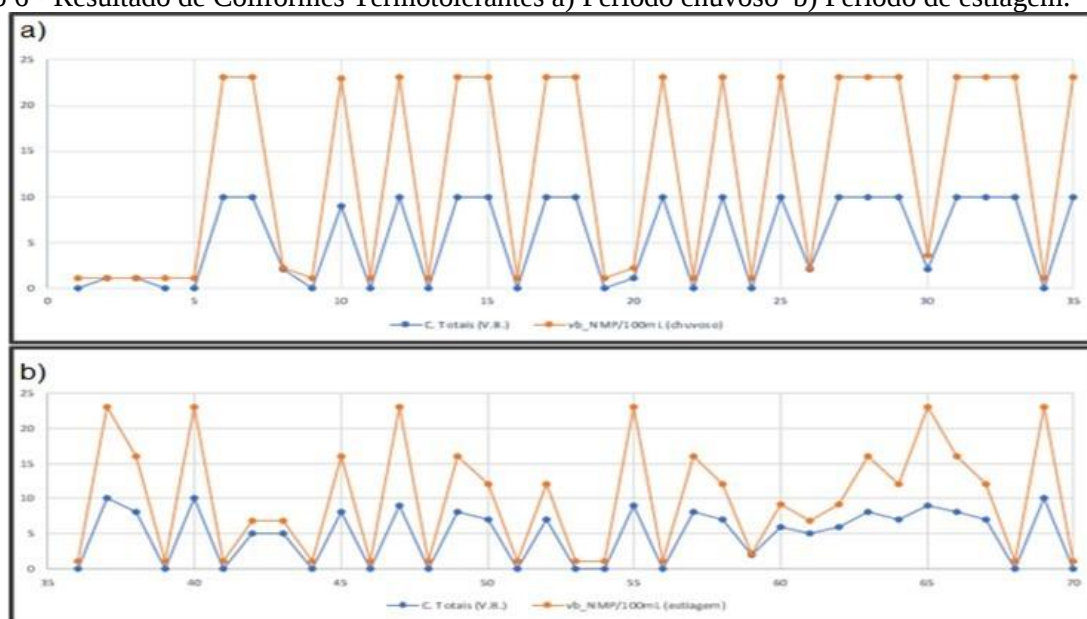
Independentemente da área, seja rural ou urbana, os fatores de contaminação permanecem semelhantes, com a infraestrutura inadequada sendo um denominador comum. Medidas urgentes são necessárias para garantir a segurança da água consumida, tanto em ambientes naturais quanto em espaços urbanos.

Em outras cidades o problema se repete, como em Açailândia-MA, as características observadas por Nicácio & Pereira Junior (2019)

nas áreas de estudo, tais como a infraestrutura deficiente e a falta de serviços adequados de saneamento, como tratamento de água, coleta de resíduos e esgotamento sanitário, também ocasionaram um impacto negativo no meio ambiente e, consequentemente, na saúde pública.

Assim, ao correlacionar os dados dos gráficos com os mapas apresentados nas Figuras 4 e 5, que espacializam a contaminação durante os períodos chuvoso e de estiagem, é possível obter uma visão mais detalhada das áreas mais afetadas e das variações sazonais. Essa análise geoespacial oferece informações valiosas para embasar a formulação de políticas públicas e a implementação de ações direcionadas, com o objetivo de mitigar os efeitos da contaminação por coliformes termotolerantes e melhorar a qualidade ambiental e as condições de vida na cidade

Gráfico 6 - Resultado de Coliformes Termotolerantes a) Período chuvoso b) Período de estiagem.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2021)

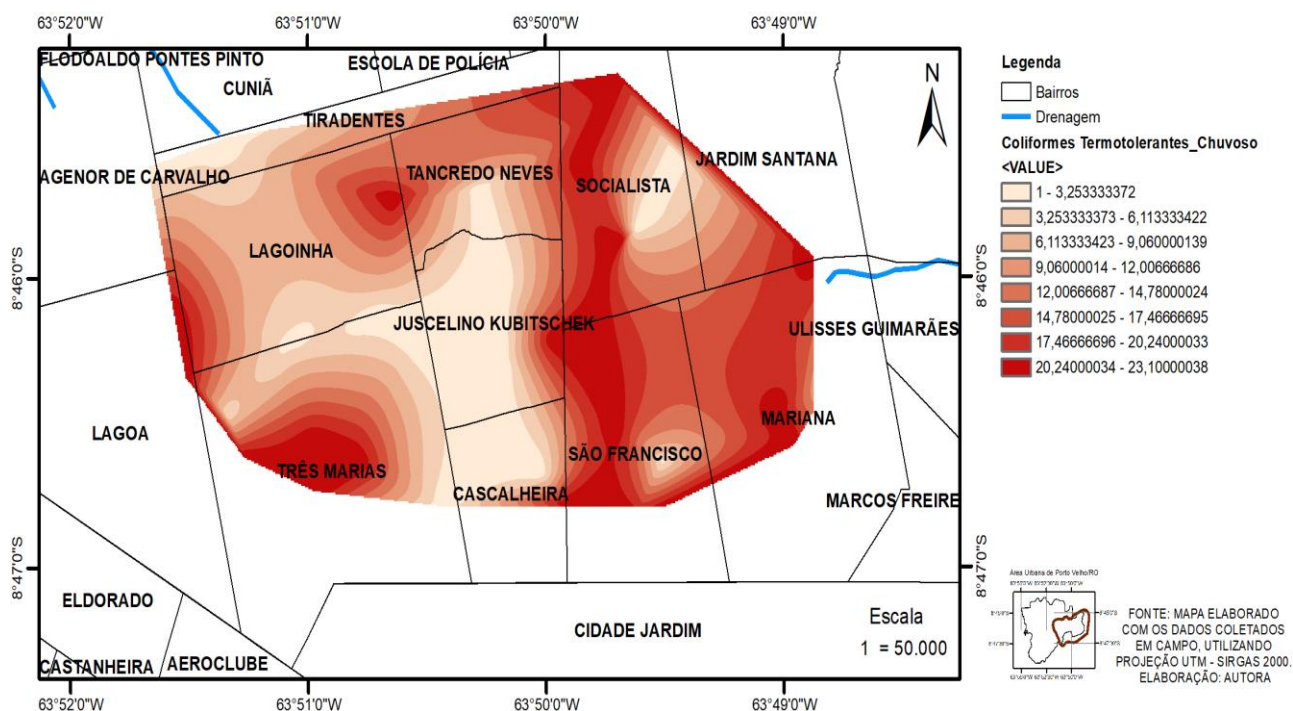


Figura 4- Contaminação por Coliformes Termotolerantes no período chuvoso

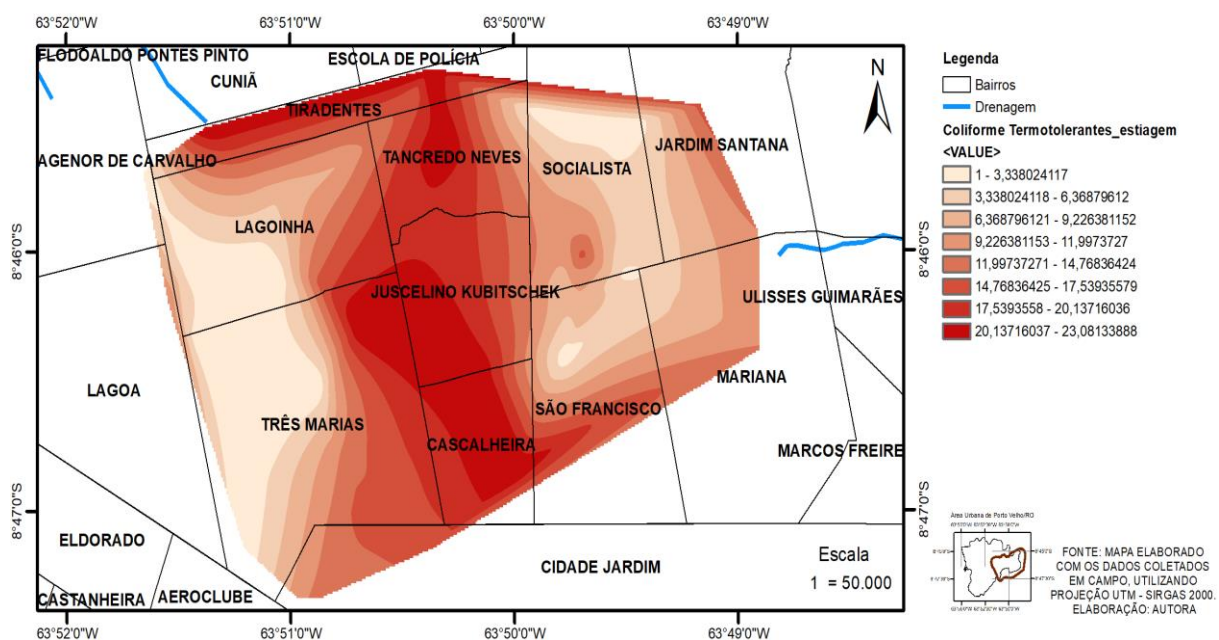
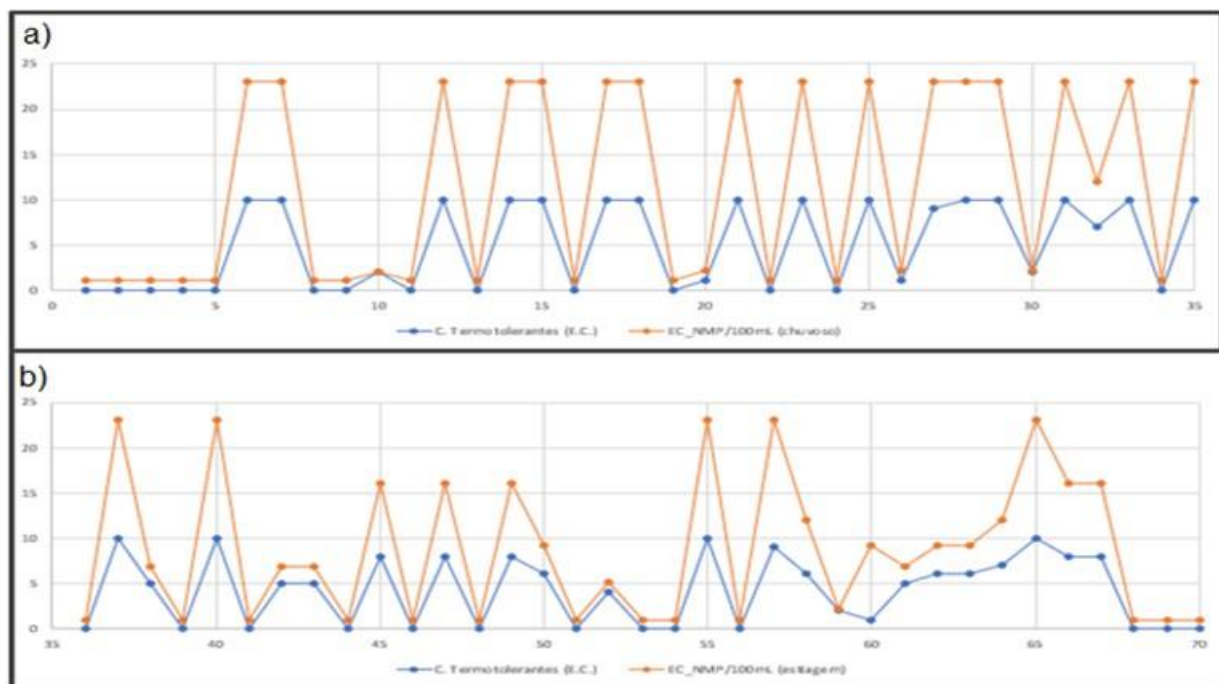


Figura 5- Contaminação por Coliformes Termotolerantes no período de estiagem

Durante o teste de coliformes *E. coli*, no período chuvoso foram registrados 13 testes negativos, enquanto no período de estiagem foram encontrados 11 testes negativos, com 35 amostras analisadas em cada período. Os resultados dessas análises foram espacializados em mapas, nas Figuras 6 e 7, que demonstraram a distribuição da contaminação por *E. coli* em diferentes pontos da região durante os períodos chuvoso e de estiagem. Essa visualização geoespacial dos dados,

juntamente com o Gráfico 7, fornece uma representação mais completa e detalhada dos níveis de contaminação por *E. coli* ao longo do tempo e do espaço. Essas informações são cruciais para identificar áreas de maior risco de contaminação e para desenvolver estratégias eficazes de intervenção e gestão ambiental, visando proteger a saúde pública e promover a qualidade da água na região.

Gráfico 7- Resultados de contaminação por E. Coli a) Período chuvoso b) Período de estiagem. Fonte:



Elaborado pelo próprio autor (2021).

Ao analisar a distribuição espacial da contaminação por *Escherichia coli* durante os períodos chuvoso e de estiagem, observa-se variações sazonais significativas. Conforme ilustrado nas Figuras 6 e 7, durante o período chuvoso, os níveis de contaminação por *E. coli* aumentam consideravelmente e se espalham por toda a região, com os bairros Juscelino Kubitschek, São Francisco e Mariana apresentando os maiores níveis de contaminação, alcançando valores de até 23,10 unidades por 100 ml de água (Figura 6). Esse padrão se deve ao aumento da infiltração de contaminantes na água subterrânea, impulsionado pelo escoamento superficial intenso durante as chuvas.

Em contraste, conforme mostrado na Figura 7, durante o período de estiagem, a contaminação por *E. coli* diminui significativamente na maior parte da região. Embora ainda existam focos de contaminação elevados, especialmente nos bairros Tancredo Neves, Juscelino Kubitschek e São Francisco, os níveis são mais baixos, com um máximo de 23,08 unidades por 100 ml de água. Áreas como Lagoinha e Três Marias, que mostraram alta contaminação no período chuvoso, apresentam uma redução considerável dos níveis de *E. coli* durante a estiagem.

Situações semelhantes foram observadas

em outras regiões, como Juína-MT, onde a presença de *Escherichia coli* em poços foi atribuída à proximidade com fossas sépticas e à falta de saneamento básico (Manochio et al., 2021). Em Rolim de Moura do Guaporé, Rondônia, da Cunha et al. (2020) verificaram que 85,7% dos poços rurais apresentavam *Escherichia coli* e 100% coliformes termotolerantes, devido à falta de proteção adequada nos poços e à proximidade com áreas de cultivo e manejo de resíduos orgânicos.

Esses resultados evidenciam a forte influência das chuvas na dispersão dos contaminantes, pois o período chuvoso contribui para o transporte de materiais contaminantes para o lençol freático, aumentando os níveis de *E. coli* nas águas subterrâneas. No período de estiagem, a redução do escoamento superficial diminui esses impactos, embora algumas áreas continuem apresentando contaminação. Essa análise geoespacial é essencial para a formulação de políticas públicas voltadas à gestão da qualidade da água, especialmente durante períodos críticos sazonais.

O estudo conduzido em Rondônia como parte do Programa QualiÁgua também identificou que 92,62% das amostras de água subterrânea apresentaram níveis de coliformes termotolerantes dentro do limite permitido pela Resolução CONAMA 357/2005 para classes 1 e 2. Esses

resultados indicam uma baixa contaminação microbiológica na maioria dos pontos monitorados, sugerindo que, apesar de algumas influências ambientais, a qualidade microbiológica da água

permaneceu dentro dos parâmetros de segurança na maior parte das áreas avaliadas (Muniz et al., 2023).

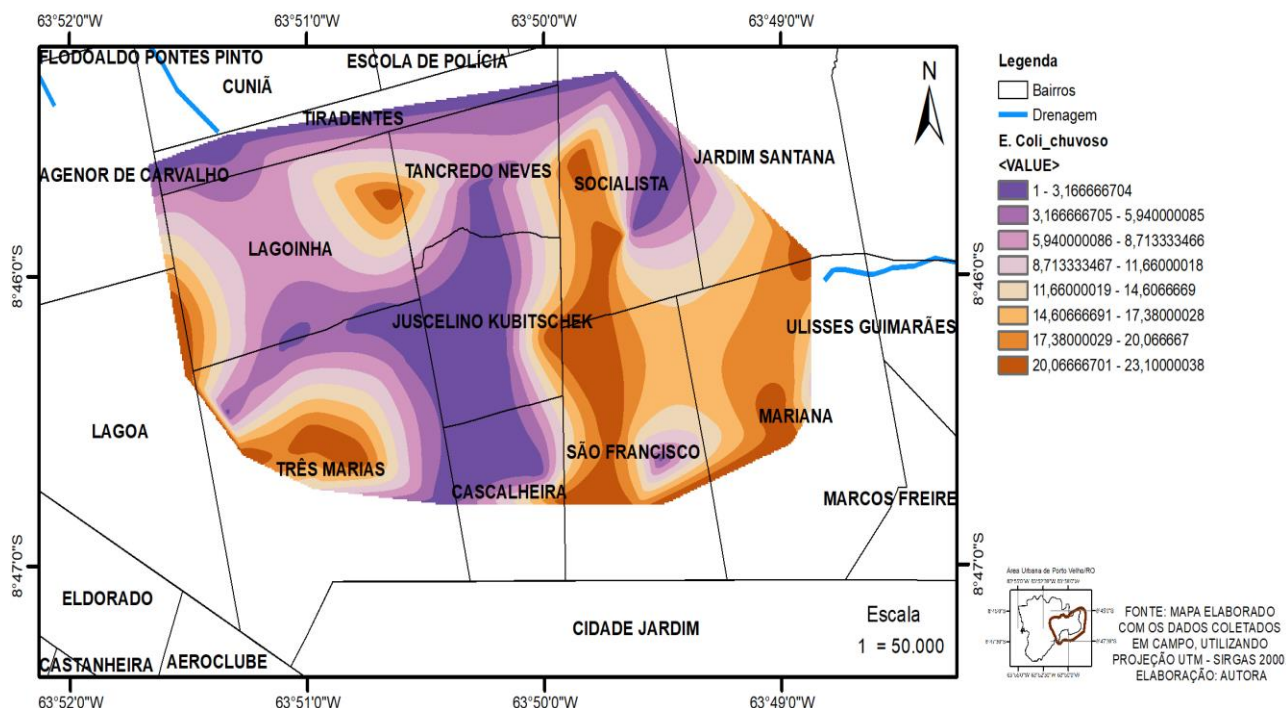


Figura 6- Contaminação por E. Coli no período chuvoso

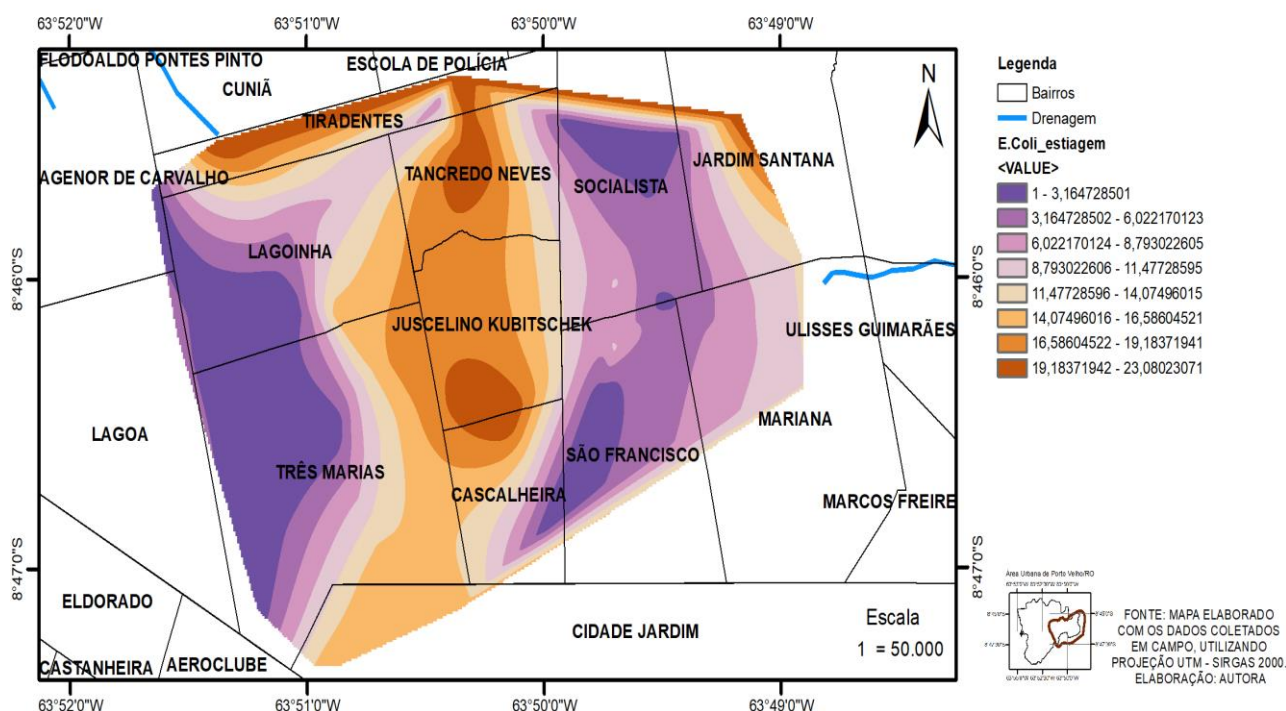


Figura 7- Contaminação por E. Coli no período de estiagem

Observam-se padrões semelhantes em outras cidades ao longo do Estado de Rondônia, como é o caso de Vilhena. Segundo Oliveira et al. (2015), houve ocorrência de contaminação por

Escherichia coli durante o período chuvoso em 66,7% das amostras analisadas, indicando que a maioria não estava em conformidade com a Resolução CONAMA n° 396/2008. No período de

estiagem, apenas um poço, o Poço Amazonas, apresentou contaminação. Além disso, Oliveira et al. (2023) relataram contaminação microbiológica significativa por *Escherichia coli* em várias amostras de água subterrânea nas comunidades rurais do sudoeste da Amazônia, especialmente durante o período chuvoso, destacando o impacto da sazonalidade nos níveis de contaminação. Esses resultados refletem problemas semelhantes aos encontrados em Vilhena e Porto Velho, onde a falta de saneamento básico e a proximidade de fossas sépticas continuam a representar uma ameaça significativa à qualidade da água, especialmente durante as chuvas, quando a lixiviação de poluentes aumenta (Manochio et al., 2021).

A precipitação pluviométrica, conforme observado por dos Santos Junior et al. (2022), desempenha um papel crucial na qualidade da água subterrânea da microbacia do rio Jaçanã. A redução significativa da cobertura vegetal naquela área contribuiu para o aumento do escoamento superficial, levando à infiltração de poluentes e sedimentos no solo, o que, por sua vez, afetou a recarga dos aquíferos. De forma semelhante, na Bacia Igarapé Tancredo Neves, os resultados indicam uma maior concentração de poluentes, como nitratos e coliformes, durante o período de estiagem, enquanto o período chuvoso provoca a diluição desses contaminantes, mas aumenta o risco de infiltração de novos poluentes.

Além dos impactos observados nas áreas rurais, a contaminação microbiológica também foi identificada em ambientes urbanos. Um estudo conduzido em uma instituição de ensino superior em Rondônia demonstrou que 39,5% das amostras de água de bebedouros estavam contaminadas por coliformes totais, e 37,5% apresentaram coliformes termotolerantes (Valiatti et al., 2021). Esses achados reforçam a importância de práticas adequadas de higienização e manutenção, tanto em áreas urbanas quanto rurais, para garantir a potabilidade da água. Tal como foi observado em poços subterrâneos no presente estudo, onde a proximidade com fossas sépticas e a infraestrutura inadequada foram fatores determinantes da contaminação por coliformes, as condições estruturais de bebedouros e sua localização também podem contribuir significativamente para a deterioração da qualidade da água.

Em Jaru, RO, 83,3% dos poços apresentaram valores de coliformes totais acima do permitido pela Portaria 2914 do Ministério da Saúde, representando um risco significativo à saúde pública devido à proximidade de fossas sépticas (Junior et al., 2020). Em Porto Velho, 90% dos poços escavados e 61% dos perfurados

estavam contaminados por coliformes termotolerantes, incluindo *E. coli*, evidenciando problemas relacionados à infraestrutura precária e à falta de saneamento básico (Baia et al., 2022). Rosa et al. (2022) conduziram um estudo sobre a qualidade microbiológica da água de poços escavados em Ji-Paraná e Ouro Preto do Oeste, no estado de Rondônia. Os resultados mostraram que 83% das amostras estavam contaminadas por coliformes totais e 58% apresentavam coliformes termotolerantes, indicando que a água não era segura para consumo humano, representando um sério risco à saúde pública. Esses resultados refletem os desafios enfrentados por várias cidades da região amazônica, onde a contaminação microbiológica das águas subterrâneas continua a representar um risco grave à saúde pública.

No estudo conduzido por Junior et al. (2020) em Jaru, 24 poços foram examinados, dos quais apenas 4 não apresentaram contaminação microbiológica, possivelmente devido às boas condições desses poços, enquanto a contaminação dos demais pode estar relacionada a estruturas inadequadas e proximidade com fossas. Em Porto Velho, Baia et al. (2022) examinaram 74 amostras de água de poços escavados e perfurados em diferentes meses de 2018, revelando que os coliformes totais estavam presentes em 96% dos poços escavados e 74% dos perfurados, e os coliformes termotolerantes em 90% dos escavados e 61% dos perfurados.

A geomorfologia da área também exerce uma influência significativa sobre a recarga dos aquíferos e a qualidade da água subterrânea. Solos mais degradados, especialmente em áreas com alta urbanização e uso agrícola intenso, como observado em ambas as microbacias, resultam em uma maior vulnerabilidade à contaminação. A conservação da cobertura vegetal e a implementação de práticas de recuperação ambiental são, portanto, essenciais para mitigar os impactos negativos sobre os recursos hídricos subterrâneos. Medidas como reflorestamento e o controle da erosão são fundamentais para reduzir a carga de poluentes nos sistemas de águas subterrâneas e melhorar a potabilidade da água em longo prazo (Santos et al., 2023).

No estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí, em Santa Catarina, Libos, Pinheiro e Girardi (2023) observaram padrões semelhantes, onde a infraestrutura de saneamento inadequada e o lançamento de efluentes domésticos e agrícolas contribuíram significativamente para a contaminação das águas subterrâneas por coliformes. Essas áreas apresentaram níveis alarmantes de contaminação microbiológica,

reforçando a necessidade de políticas públicas voltadas ao saneamento e ao manejo adequado das águas. Oliveira Franco et al. (2020) constataram no Acre que 75% das amostras dos poços estavam contaminadas por coliformes totais e fecais.

Na região metropolitana de Belo Horizonte, Souza-Silva et al. (2023) examinaram 265 amostras de água subterrânea e constataram que 167 amostras (63%) estavam fora dos padrões estabelecidos pela legislação vigente, evidenciando a correlação entre coliformes e a ausência de saneamento básico. Santos et al. (2023a) também observaram no Lago Preto, em Lábrea-AM, que parâmetros como oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, DBO5, pH, fósforo e nitrogênio foram impactados pela presença de esgoto doméstico. Esses resultados, embora se refiram a um corpo d'água superficial, podem ser correlacionados com as águas subterrâneas de Porto Velho, onde fontes de contaminação semelhantes afetam a potabilidade da água.

Da mesma forma, 12,5% dos poços em Jaru, RO, apresentaram resultados não satisfatórios em relação à concentração de oxigênio dissolvido, o que é um indicador importante de qualidade da água subterrânea (Junior et al., 2020). Assim como em Porto Velho, onde a contaminação por coliformes é associada à falta de saneamento e à má estrutura dos poços, Mecnas et al. (2020) identificaram em Poço Verde-SE uma significativa contaminação microbiológica causada pela proximidade de fossas sépticas. Santos et al. (2023b) observaram em Irituia-PA problemas similares de contaminação microbiológica devido à infraestrutura precária de abastecimento de água. Esses dados enfatizam a necessidade urgente de melhorias no sistema de abastecimento de água em Porto Velho, especialmente no que diz respeito à manutenção, monitoramento e tratamento das águas subterrâneas. A implementação de um Plano de Segurança da Água (PSA) poderia mitigar os riscos de contaminação, como recomendado por Santos et al. (2023b) para a comunidade de Irituia-PA.

Esses resultados foram apoiados por Muniz et al. (2023), que identificaram uma variabilidade significativa nos parâmetros de qualidade da água, com destaque para pH, cloreto e DBO. A análise revelou que 65,97% das amostras de pH estavam entre 0 e 6,99, indicando um comportamento ácido das águas, provavelmente relacionado à decomposição de matéria orgânica.

Conclusão

A Bacia do Igarapé Tancredo Neves tem sido severamente impactada pelo crescimento desordenado ao longo dos anos, especialmente em áreas densamente povoadas. O adensamento populacional afeta diretamente a qualidade da água subterrânea, comprometendo sua potabilidade. A falta de planejamento urbano e saneamento básico adequado contribuiu significativamente para a contaminação química e microbiológica da água na bacia.

Os problemas de saneamento em Porto Velho refletem um padrão observado em muitos centros urbanos no Brasil, onde o crescimento populacional e territorial não foi acompanhado por melhorias na infraestrutura básica. Em 2021, apenas 26,05% da população de Porto Velho tinha acesso à água tratada, uma redução em relação aos 32,87% registrados em 2020, evidenciando a ineficiência no abastecimento de água. Comparativamente, Manaus, que fez grandes investimentos entre 2014 e 2018, conseguiu atender 91,42% de sua população com água tratada. A situação de Porto Velho é agravada pela falta de tratamento de esgoto, com apenas 6,36% do esgoto sendo tratado, colocando a cidade entre as piores do país neste aspecto.

A análise da qualidade da água subterrânea da Bacia revelou contaminações microbiológicas e alterações físico-químicas significativas, afetando diretamente sua potabilidade. A variabilidade dos resultados é influenciada por fatores como a precipitação e as características do solo, com maior contaminação observada em áreas de alta densidade populacional e despejo de esgoto. A geologia local e a composição dos solos também afetam a recarga e a circulação das águas subterrâneas, e a presença de contaminantes no solo compromete ainda mais a qualidade da água, reforçando a importância da conservação do solo.

Diante disso, é fundamental buscar alternativas para minimizar os impactos sobre a qualidade da água subterrânea. Recomenda-se a vedação de poços abandonados, eliminação de construções irregulares e conscientização sobre a construção adequada de poços. Um sistema eficiente de saneamento básico ajudaria a mitigar as fontes de poluição, contribuindo para a preservação do solo e da água, além de melhorar a potabilidade das águas subterrâneas.

Os impactos antrópicos observados na Bacia do Igarapé Tancredo Neves são semelhantes aos da microbacia do rio Jaçanã, em Rondônia, onde a expansão agropecuária e a redução da cobertura vegetal aumentaram a contaminação dos

recursos hídricos. De maneira similar, o crescimento desordenado e a falta de saneamento básico na Bacia do Igarapé Tancredo Neves resultaram em contaminação por nitratos e coliformes. Esses resultados reforçam a necessidade de ações ambientais e melhorias no saneamento para mitigar os impactos na qualidade da água subterrânea.

Os estudos destacam uma preocupação comum: o consumo de água de poços que não atendem aos padrões de potabilidade continua sendo um desafio. A variabilidade dos fatores que afetam a qualidade da água exige ações coordenadas para mitigar esses impactos. Políticas públicas eficazes, que promovam o saneamento básico, a proteção das fontes hídricas e o reflorestamento das áreas de recarga, são essenciais. Somente com intervenções mais robustas será possível mitigar os impactos da urbanização desordenada, garantindo a segurança hídrica e a qualidade das águas subterrâneas para as gerações futuras.

Agradecimentos

Agradeço sinceramente ao meu orientador/professor, colegas de pesquisa dos laboratórios da UNIR e do IFRO, a instituição financiadora CAPES pelo apoio e concessão de bolsa, a família pelo apoio e contribuições indispensáveis para este trabalho.

Referências

- Alexakis, D. E. (2024). Groundwater quality and human health risk. *Water*, 16(19), 2762. <https://doi.org/10.3390/w16192762>
- Association, A. P. H. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association (APHA).
- Bahia, M. A. d. S. (1997). *Caracterização Biogeoquímica de Águas Subterrâneas da Zona Urbana de Porto Velho-RO*. [Dissertação de Mestrado em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará – UFPA]. <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/14928>
- Baia, C. C., Vargas, T. F., Ribeiro, V. A., Laureano, J. d. J., Boyer, R., Dórea, C. C., & Bastos, W. R. (2022). Microbiological Contamination of Urban Groundwater in the Brazilian Western Amazon. *Water*, 14(24), 4023. <https://doi.org/10.3390/w14244023>
- Brasil, T. (2020). *Ranking do Saneamento*. Instituto Trata Brasil. https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Relatorio_Ranking_Trata_Brasil_2020_Julho_.pdf
- Brasil, T. (2023). *Ranking do Saneamento*. Instituto Trata Brasil. https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/03/Versao-Final-do-Relatorio_Ranking-do-Saneamento-de-2023-2023.03.10.pdf
- Brasil. (2017). *Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017*. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. https://portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf
- CETESB. (2017). Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes e Escherichia Coli – Determinação pela técnica de tubos múltiplos. (L5.202). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2018/01/Para-enviar-ao-PCSM_-NTC-L5.202_5ªed_-dez.-2018.pdf
- Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). (2008). Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Define os critérios e padrões para a classificação das águas subterrâneas. Ministério do Meio Ambiente. <https://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>
- Da Cunha, A. R., Ferreira, M. T. S., Oliveira, L. J., & Silva, J. P. (2020). Qualidade da água de poços em Rolim de Moura do Guaporé, Rondônia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 25(3), 1-10. <https://doi.org/10.47209/2317-5729.v.9.n.2.p.1-9>
- dos Santos Junior, N. R. F., Cavalheiro, W. C. S., Fulan, J. A., da Silva Souza, R. F., Serrano, A. M., Borges, M. V. V., ... & de Souza, E. F. M. (2022). Caracterização hidrogeomorfológica temporal da paisagem da microbacia do rio Jaçanã, Rondônia, Brasil. *RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218*, 3(3), e331242-e331242.
- Franca, R. R. d., & Mendonça, F. d. A. (2015). A cheia histórica do rio madeira no ano de 2014: riscos e impactos à saúde em Porto Velho (ro). *Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, 11(21), 62–79. <https://doi.org/10.14393/hygeia1130374>
- FUNASA. (2013). Manual Prático de análise da água. Fundação Nacional de Saúde. <https://www.funasa.gov.br/site/wp-content/uploads/2022/09/Manual-Pratico-de-analise-da-agua.pdf>

- content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf
- Junior, H. L., Caldeira, T. M., Maciel, C. V. L., Gama, L. S. G., & Gonçalves, A. P. A. (2020). Avaliação da qualidade de águas de poços no município de Jaru, Rondônia, Brasil. *Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente*, 10(2), 43-55. <https://doi.org/10.31072/rcf.v10i2.828>
- Laureano, J. J., Mendonça, A. G., Lopes, D. S., Sousa, L. M., Lima, T. O., Rosa, A. L. D., & Nascimento, E. L. (2020). Análise da qualidade da água subterrânea: Estudo de caso na microbacia do Igarapé Nazaré (Rondônia, Amazônia Ocidental). *Revista Águas Subterrâneas*, 35(1), 29972. <https://doi.org/10.14295/ras.v35i1.29972>
- Libos, N. M. C., Pinheiro, A., & Girardi, R. (2023). Análise da qualidade das águas superficiais e comparação entre monitoramentos sistemático e não sistemático na Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(2), 672-687. <https://doi.org/10.21168/reg.v16e2>
- Lima, F. C. L., Silva, M. S., & Costa, D. S. (2023). Avaliação da qualidade da água de poços domésticos em comunidades rurais no Arquipélago de Marajó-PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(2), 145-160. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/243734/36927>
- Manea, N., Sirbu, A., Popescu, V., & Vizitiu, G. (2021). Physico-chemical parameters and health risk analysis of groundwater quality. *Applied Sciences*, 11(11), 4775. <https://doi.org/10.3390/app11114775>
- Manochio, V. C., Silva, A. C., & Gomes, J. B. (2021). Avaliação da qualidade hídrica de poços de abastecimento do município de Juína, MT-Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(2), 343-358. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0031>
- Maiara da Fonseca Santos, L., & Aguilar da Silva, R. (2021). Nitrato em águas subterrâneas: Um alerta sobre os riscos à saúde. *BEPA. Boletim Epidemiológico Paulista*, 18(216), 46–57. <https://doi.org/10.57148/bepa.2021.v.18.37269>
- Mecenas, M. C. M., Nascimento, L. G. M., & Costa, J. J. (2020). Avaliação da qualidade da água distribuída pelo sistema de abastecimento em Poço Verde – SE no período de janeiro a outubro de 2019. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(7), 1234-1247. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/244751/36927>
- Melo, S. G. d., Ribeiro, J. S., Lopes, R. B., Moura, L. S. d., & Silva, J. T. d. (2022). Análise físico-química da água de poços em uma área urbana de ocupação irregular na Amazonia Brasileira. *Research, Society and Development*, 11(4), Artigo e25511427359. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27359>
- Muniz, R. P., Oliveira, D. S., Almeida, T. L., & Souza, M. R. (2023). Comportamento qualitativo das águas subterrâneas em Rondônia: Análise da série histórica do Programa QualiÁgua (2016-2023). *Revista Presença Geográfica*, 9(2), 123-134. Disponível em <https://portal.amelica.org/ameli/journal/274/2744786005/2744786005.pdf>
- Nicácio, J., & Pereira Junior, A. (2019). Saneamento básico, meio ambiente e a saúde pública em Açailândia-MA. *Revista Saúde e Meio Ambiente*, 8(1), 123–136. <https://periodicos.ufms.br/index.php/sameamb/article/view/7469>
- Oliveira Franco, A., Oliveira Arcos, F., da Silva Torres, O., & da Silva Brandão, L. (2020). Análise físico, química e bacteriológica da água subterrânea: estudo de caso em cinco municípios do Acre - Brasil. *Revista Presença Geográfica*, 7(3), 1–15. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/274/2742036007/>
- Oliveira, G. A., Do Nascimento, E. L., Denardin da Rosa, A. L., Lauthartte, L. C., Bastos, W. R., Barros, C. G. D., Cremonese, E. R., Bento, A. Q., Malm, O., Georgin, J., & Corti, A. M. (2015). Avaliação da qualidade da água subterrânea: estudo de caso de Vilhena – RO. *Águas Subterrâneas*, 29(2), 213. <https://doi.org/10.14295/ras.v29i2.28399>
- Rosa, L. C., Santos, R. F., & Souza, J. M. (2022). Qualidade microbiológica de águas de poços escavados no interior do estado de Rondônia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 9(2), 1-9. <https://doi.org/10.47209/2317-5729.v.9.n.2.p.1-9>
- Sahoo, D., & Anandhi, A. (2023). Conceptualizing turbidity for aquatic ecosystems in the context of sustainable development goals. *Environmental Science:*

- Advances*, 2(9), 1220-1234.
<https://doi.org/10.1039/d2va00327a>
- Santos, F. A., Silva, J. P., & Costa, M. R. (2023a). Avaliação da qualidade da água do Lago Preto como subsídio de abastecimento público para a cidade de Lábrea-AM. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(3), 678-692.
<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/262138>
- Santos, F. A., Silva, J. P., & Costa, M. R. (2023b). Caracterização do Sistema de Abastecimento de Água da Comunidade São Francisco de Irituia, Irituia – PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(4), 312-324.
<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/257740>
- Souza-Silva, G., Ribeiro de Souza, C., Viana Pereira, V., Cristina Rezende Azevedo, F., Vianna Soares, I., Domingues Alcantara, M., Jacinto Luz, G., & Rosa Silveira, M. (2023). Contaminação por compostos nitrogenados e coliformes em águas subterrâneas da região metropolitana de Belo Horizonte, Brasil. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 11(3), 106–124. <https://zenodo.org/records/10429658>
- Valiatti, T. B., Santana, J. R., Santos, F. F., Romão, N. F., Salvi, J. O., & Sobral, F. O. S. (2021). Análise microbiológica da água de bebedouros de uma instituição de ensino superior de Rondônia, Brasil. *Revista Saúde (Santa Maria)*, 47(1), e64944. Disponível em [https://periodicos.ufsm.br/revistasauade/article/view/64944/pdf​;contentReference\[oaicite:0\]{index=0}​;contentReference\[oaicite:1\]{index=1}](https://periodicos.ufsm.br/revistasauade/article/view/64944/pdf​;contentReference[oaicite:0]{index=0}​;contentReference[oaicite:1]{index=1}).