

TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR ESGOTO DOMÉSTICO E POSSIBILIDADE DE APLICAÇÃO NUMA CIDADE AMAZÔNICA

TECHNIQUES FOR IDENTIFYING GROUNDWATER CONTAMINATION BY DOMESTIC SEWAGE AND POSSIBLE APPLICATIONS IN AN AMAZONIAN CITY

Victor Hugo Vidal Aranha¹
<https://orcid.org/0009-0001-8294-0594>
 John Witysel Santos Rodrigues²
<https://orcid.org/0009-0009-4064-9887>
 Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior³
<https://orcid.org/0000-0002-2678-9420>

Submetido: 22/12/2024 / Aprovado: 01/08/2025 / Publicado: 08/09/2025.

Resumo

O crescimento populacional desordenado tem acarretado riscos à saúde pública por meio da contaminação de aquíferos por substâncias tóxicas e doenças veiculadas pela água. Diante do contexto, a detecção da poluição da água subterrânea é desafiadora devido à sua localização confinada. Nesse sentido, este estudo reúne, através de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), as técnicas de identificação de contaminação das águas subterrâneas por esgoto doméstico mais abordadas na bibliografia científica mundial, visando uma possível aplicação de remediação e/ou prevenção em casos na cidade de Itaituba, sudoeste do Pará. A RSL foi realizada através do software StArt, considerando as bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, abrangendo o período de 2000 a 2023. Dos 256 artigos identificados, nove foram selecionados. Nestes, notou-se que as técnicas usualmente adotadas incluíam amostragem de água, análise laboratorial por espectroscopia para detecção de substâncias químicas, filtragem e produção de meios de cultura para a detecção de coliformes fecais. Baseado nisto, indica-se para Itaituba a realização de amostragem de água e análise laboratorial como possível método de aplicação e controle. Em linhas gerais, acredita-se que esta pesquisa possa embasar a formulação de políticas e práticas que visem mitigar os impactos da contaminação por esgoto doméstico.

Palavras-chave: Contaminação de água subterrânea. Esgoto doméstico. Artigos científicos.

Abstract

Uncontrolled population growth has caused public health risks through the contamination of aquifers by toxic substances and waterborne diseases. Given this context, detecting groundwater pollution is challenging due to its confined location. In this sense, this study brings together, through a Systematic Literature Review (SLR), the techniques for identifying groundwater contamination by domestic sewage most addressed in the world scientific bibliography, aiming at a possible

¹Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). victorhv.aranha@gmail.com.

²Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). johnwitysel@outlook.com.

³Doutorado em Engenharia Civil (Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). marcos.abs@ufopa.edu.br.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v20i1.8325>

V. 22, N. 1 (2025)

 Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

application of remediation and/or prevention in cases in the city of Itaituba, southwestern Pará. The SLR was performed using the StArt software, considering the Scopus and Web of Science databases, covering the period from 2000 to 2023. Of the identified 256 articles, nine were selected. In these, it was noted that the techniques usually adopted included water sampling, laboratory analysis by spectroscopy for detection of chemical substances, filtration and production of culture media for the detection of fecal coliforms. Based on this, it is recommended that water sampling and laboratory analysis to be carried out in Itaituba as a possible method of application and control. In general terms, it is believed that this research can support the formulation of policies and practices that aim to mitigate the impacts of contamination by domestic sewage.

Keywords: Groundwater contamination. Domestic sewage. Scientific articles.

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos mais importantes para a vida no planeta, fazendo parte de inúmeros sistemas responsáveis pela manutenção do modo de vida humano. Entretanto, conforme elucidado por Morelo (2024), apesar das fontes de água serem consideradas renováveis, atualmente sua disponibilidade está limitada e cada vez mais suas reservas estão ameaçadas devido ao uso incorreto, ao desperdício e à poluição. Segundo Basamba *et al.* (2013), a degradação da qualidade da água potável configura-se como uma problemática de caráter global, apresentando maior severidade em países em desenvolvimento, nos quais o acesso a fontes seguras de abastecimento é limitado. Nessa perspectiva, evidencia-se a necessidade de implementação de alternativas complementares aos sistemas públicos de tratamento e distribuição, como a adoção de poços tubulares comunitários.

Os principais contaminantes de águas subterrâneas são o esgoto doméstico, resíduos sólidos e produtos químicos residuais de farmacêuticos, indústrias ou fertilizantes. Madriles *et al.* (2024) afirmam que, geralmente, a contaminação da água é resultante do crescimento populacional e da ocupação do solo, causando a degradação da qualidade dos corpos hídricos tanto subterrâneos quanto superficiais, devido intervenções antropogênicas expressivas, como: destinação incorreta de efluentes domésticos, cemitérios e derivados do petróleo. Silva e Vieira (2024) corroboram ao relatarem que as atividades humanas exploratórias lançam uma gama de poluentes que, inevitavelmente, permeia os aquíferos, comprometendo a qualidade das reversas de água subterrânea e ampliando, assim, a demanda por recursos hídricos limpos para corresponder as demandas domésticas, industriais e agrícolas.

A captação anual estimada de água subterrânea no mundo, a partir de 2010, supera os 1.000.000 Mm³ o que a coloca como substância mais extraída do subsolo (Hirata *et al.*, 2019). Segundo Zektser e Everett (2004), a porção de água subterrânea, considerando um balanço geral de abastecimento doméstico de água potável, excede 70% na Áustria, Armênia, Bielorrússia, Bélgica, Hungria, Geórgia, Dinamarca, Lituânia, Suíça e Alemanha, e atinge de 50 a 70% na Bulgária, Itália, Portugal, Ucrânia e França; nos Estados Unidos da América, já na década de 1970, uma porção de água subterrânea no abastecimento municipal de água excedia 40% representada 75% de abastecimento dos sistemas municipais, fornecendo água potável para mais da metade da população do país; do mesmo modo, a água subterrânea é de grande importância no abastecimento doméstico e potável na Austrália e em alguns países da Ásia e da África; e, por fim, água subterrânea contribui mais acentuadamente no abastecimento público em países onde os recursos hídricos superficiais são escassos, como a Arábia Saudita e Líbia.

No Brasil, as reservas renováveis de águas subterrâneas atingem cerca de 42,3 mil m³/s, representando cerca de 24% do escoamento médio dos rios em território nacional e de 46% da disponibilidade hídrica superficial.

De acordo com os dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), em 2010, 52% dos 5.570 municípios brasileiros eram abastecidos total (36%) ou parcialmente (16%) por mananciais subterrâneos (ANA, 2010). Dados recentes do ano de 2021 mostram que 57% das sedes urbanas são abastecidas total (40%) ou parcialmente (17%) por mananciais subterrâneos (ANA, 2021). A participação da água subterrânea no abastecimento da população varia de região para região brasileira. Segundo dados da ANA (2010), São Paulo, por exemplo, é de longe o maior consumidor de águas subterrânea em volume, extraíndo 484 Mm³/ano, seguido por Minas Gerais, com 139 Mm³/ano, Paraná, com 132 Mm³/ano e Maranhão, com 110 Mm³/ano. Ainda segundo a ANA (2010), a dependência por esse recurso subterrâneo é maior no estado de Roraima (75%), seguido por Rio Grande do Norte (67%), Maranhão (63%) e Mato Grosso do Sul (58%).

A Lei N° 11.445, de 5 de janeiro de 2007, em seu art. 2º dispõe que os serviços públicos de saneamento básico são um direito de acesso universal (Brasil, 2007). O Novo Marco Legal do Saneamento Básico, Lei nº 14.026 (Brasil, 2020), estipula metas concretas para que seja alcançada a universalização dos serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgoto, até 2033, ou seja, até o final de 2033, 99% da população brasileira deverá ter acesso à água tratada, e 90% à coleta e tratamento do esgoto. Porém, a maior parte das cidades brasileiras não possui sistemas que acomodem todos esses pontos. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 15,8% da população nacional não possui acesso à água potável, 44,2% da população não possui coleta de esgoto e apenas 51,2% do esgoto gerado pela água consumida é tratado (SNIS, 2021). O consumo de água contaminada gera sérios problemas de saúde em populações humanas e também na produção animal das regiões rurais (Ribeiro *et al.* 2021), e a implantação de sistemas para garantir a qualidade de vida apropriada à população é desafiadora em inúmeros municípios, geralmente por questões logísticas, crescimento populacional desordenado, falta de infraestrutura e recursos financeiros limitados. Assim, apesar de o sistema básico de saneamento funcional, partindo da coleta e tratamento de esgoto, se mostrar essencial para prevenir a contaminação da água e do solo, o mesmo se mostra em uma realidade ainda distante.

Diante do exposto, este estudo reúne, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), as técnicas de identificação de contaminação das águas subterrâneas, por esgoto doméstico, mais abordadas na bibliografia científica mundial, visando uma possível aplicação de remediação e/ou prevenção em casos na cidade de Itaituba, sudoeste do Pará.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caraterização do município

Localizada na mesorregião sudoeste paraense, o município de Itaituba possui uma população de 123.314 habitantes em 2022 e uma extensão territorial de 62.042,472 km². Em 2019, o seu núcleo urbano possuía uma área de 33,42 km², com 2,3% de urbanização das vias públicas em 2010 (IBGE, 2023). Do ponto de vista hidrológico e climático, está situada na bacia do rio Tapajós, afluente do rio Amazonas, com temperatura mínima superior a 18º C e a umidade relativa superior aos 80% em quase todos os meses do ano. Outro fator relevante é que a estação chuvosa de maiores intensidades ocorre entre dezembro e junho, com índices pluviométricos anuais próximos dos 2065 mm.

Quanto ao panorama do saneamento básico no município, segundo os dados do SNIS de 2021 (SNIS, 2021), somente 8,57% da população é atendida com abastecimento de água tratada, enquanto que mais de 90% da população é abastecida por poços tubulares escavados próximos aos

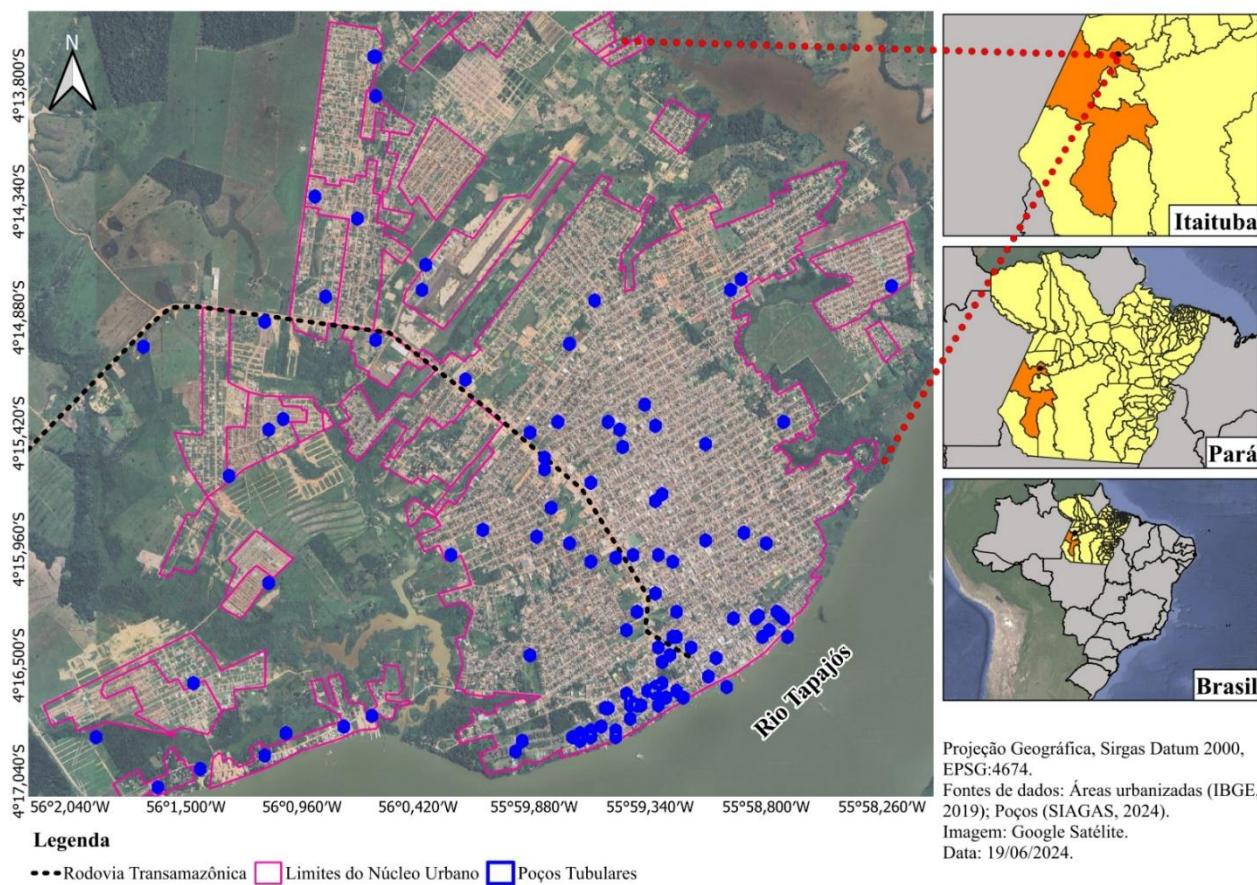
DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v20i1.8325>

V. 22, N. 1 (2025)

 Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

próprios domicílios ou por poços de uso comunitário, totalizando no ano de 2024 em 192 poços cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), como apresentado na Figura 1.

Figura 1. Localização do núcleo urbano do município de Itaituba-PA e disposição espacial de poços para abastecimento.



Fonte: Autores, 2024.

Ainda segundo o SNIS (2021), a cidade não possui sistema de coleta e tratamento de esgoto e, por conta disso, fossas rudimentares e sumidouros ainda são utilizados para tal disposição de esgoto. Essas técnicas, na maioria das vezes, são inadequadas e ineficientes do ponto de vista técnico, e são realizadas próximos a cursos d'água e poços de onde são captadas águas para o abastecimento humano (Lima *et al.*, 2012), podendo levar à contaminação da população.

Nesse quesito, os dados da Plataforma Infosanbas (2024) mostram que entre 1996 e 2020, foram registradas, em Itaituba, 237 mortes por Doenças Relacionadas ao Saneamento Inadequado (DRSAI) e mais de 9 mil internações, apenas entre os anos de 2007 e 2021. Tais dados demonstram que a proteção das águas subterrâneas é uma questão urgente de saúde pública e que a aplicação de medidas que visem minimizar a contaminação se faz necessária.

2.2 Revisão sistemática da literatura

Segundo Rojas e Torres (2014), uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) é um resumo de investigações que se enfoca em uma pergunta clínica determinada de maneira estruturada e reproduzível. Assim, este estudo partiu de uma RSL, utilizando-se da ferramenta de protocolo *State*

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v20i1.8325>

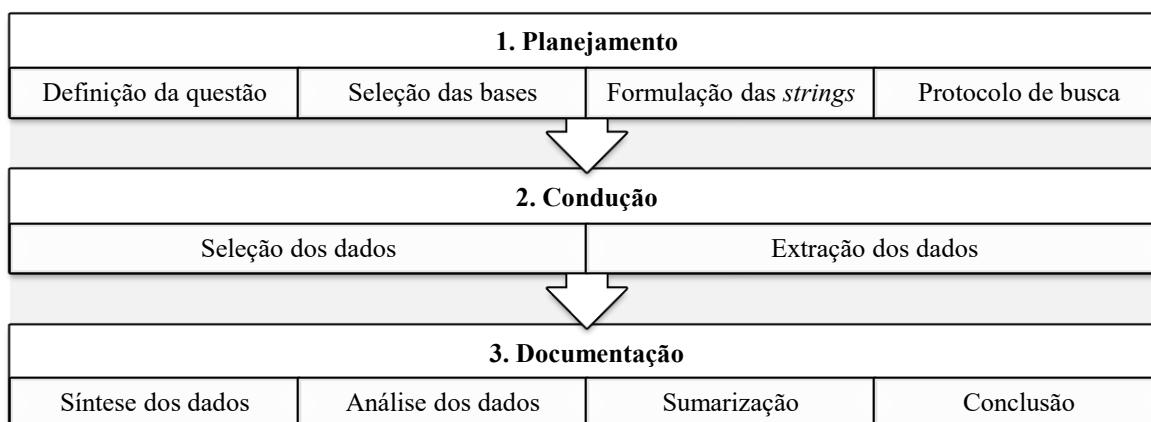
V. 22, N. 1 (2025)

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

of the Art through Systematic Review (StArt), versão 3.0.3 BETA, software desenvolvido e disponibilizado gratuitamente pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LaPES), da Universidade Federal de São Carlos (LaPES UFSCar, 2017).

Esta pesquisa pode ser resumida em três etapas principais: planejamento, condução e documentação. Na fase planejamento, foi definida a problemática principal abordada, selecionada as bases de dados, realizada a formulação das *strings* de busca e o preenchimento do protocolo de busca. Na fase de condução, houve a seleção dos dados e, em seguida, a extração dos dados. Na fase final, documentação, foram executadas a síntese e análise dos dados, a sumarização e a conclusão, conforme expressa a Figura 2.

Figura 2. Etapas da Revisão Sistemática da Literatura.



Fonte: Autores, 2024.

2.2.1 Planejamento

Nessa etapa foi definida a problemática central da pesquisa, que buscou identificar quais são os métodos mais comuns de identificação de contaminação de águas subterrâneas por esgoto doméstico com o questionamento principal acerca de qual seria o melhor método a ser utilizado em uma possível aplicação em Itaituba-PA. Por conseguinte, a escolha das bases de dados visou a abrangência e a relevância dos artigos na área de engenharia. A formulação das *strings* de busca partiu de palavras-chave, combinadas a descritores booleanos (AND e OR), executadas em várias tentativas até a obtenção dos melhores resultados. Concluiu-se essa fase com o preenchimento do protocolo de busca, com: título, objetivo, questão, palavras-chave, critérios de inclusão e exclusão e resultados esperados. As bases de dados escolhidas foram a *Scopus* e a *Web of Science*, e as palavras-chave utilizadas nas *strings* foram: “*domestic sewage*”, “*identification techniques*”, “*underground water*”, “*underground water pollution*” e “*water pollution*”. As limitações da RSL foram o tipo de publicação, o recorte temporal, o idioma e o tipo de acesso, como mostrado a seguir:

1. Tipo de publicação – artigos publicados em periódicos ou de conferência;
2. Recorte temporal – de 2000 a 2023;
3. Idioma dos artigos – português e inglês;
4. Tipo de acesso – aberto ou texto completo disponível.

2.2.2 Condução

Nessa etapa, executada no *software StArt*, ocorreu a seleção dos dados a partir da exclusão dos artigos duplicados e que não apresentaram os termos de busca no título, palavras-chave e

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v20i1.8325>

V. 22, N. 1 (2025)

 Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

resumos. Apenas estudos primários referentes ao tema foram selecionados. Para a extração dos dados foram considerados os critérios de inclusão e exclusão, para que apenas os artigos aderentes a pesquisa fossem aceitos na filtragem, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Critérios de inclusão e exclusão dos artigos da RSL.

Critérios	Descrição dos Critérios de Inclusão (CI)
CI-1	Fala sobre contaminação de água subterrânea por esgoto doméstico
CI-2	Aborda técnicas de identificação de contaminação de águas subterrâneas
Critérios	Descrição dos Critérios de Exclusão (CE)
CE-1	Duplicado
CE-2	Não fala sobre contaminação de água subterrânea por esgoto doméstico
CE-3	Não aborda técnicas de identificação de contaminação de águas subterrâneas

Fonte: Autores, 2024.

A aplicação dos critérios de inclusão e exclusão foi feita a partir da leitura do resumo, introdução e metodologia dos artigos. Assim, os artigos passaram pelos critérios de qualidade, que levaram em consideração a coerência e coesão textual dos artigos, bem como se atendiam os objetivos da RSL. A extração dos dados levou em consideração os critérios de elegibilidade, em que foi respondido se “houve” ou “não houve” a extração de dados do artigo.

2.2.3 Documentação

Por fim, essa etapa englobou a síntese dos dados, utilizando-se as ferramentas *StArt*, *Excel* e *Word*. A análise ocorreu de forma criteriosa, levando em consideração os dados já sintetizados. Por conseguinte, realizou-se o processo de sumarização das informações, obtendo-se, assim, fluxograma e gráficos a fim de melhor apresentar a análise descritiva dos dados encontrados. O resumo do procedimento metodológico da RSL pode ser observado no Quadro 2.

Quadro 2 - Resumo do procedimento metodológico da RSL.

Etapas	Ferramentas de pesquisa	Retorno
PLANEJAMENTO	Plataforma Sucupira da CAPES	Definição da questão
		Seleção das bases de dados
	<i>Scopus</i> e <i>Web of Science</i>	Formulação das strings de busca
	<i>StArt</i>	Protocolo de busca
CONDUÇÃO	Atividades usando o StArt (identificação e triagem)	Retorno
	Seleção dos dados	Identificação e separação dos conteúdos
	Extração dos dados	Formatação do texto
DOCUMENTAÇÃO	Atividades usando o StArt, Excel e o Word (inclusão)	Retorno
	Síntese dos dados	Atendimento aos objetivos, confecção dos quadros, gráficos e fluxograma, e a redação final do artigo.
	Análise dos dados	
	Sumarização	
	Conclusão	

Fonte: Autores, 2024.

2.3 Avaliação das técnicas identificadas na RSL para aplicação no município

Após a seleção dos artigos aderentes à pesquisa, foram reunidas as técnicas abordadas nos estudos, focando nos métodos e procedimentos adotados para a detecção da contaminação e do poluente, bem como nas soluções para a remediação de águas contaminadas. Na sequência, foi conduzida uma avaliação das técnicas identificadas na análise bibliométrica para eventuais casos, em Itaituba-PA, de contaminação das águas subterrâneas por esgoto doméstico. Também foram reunidos e discutidos alguns estudos desenvolvidos no local.

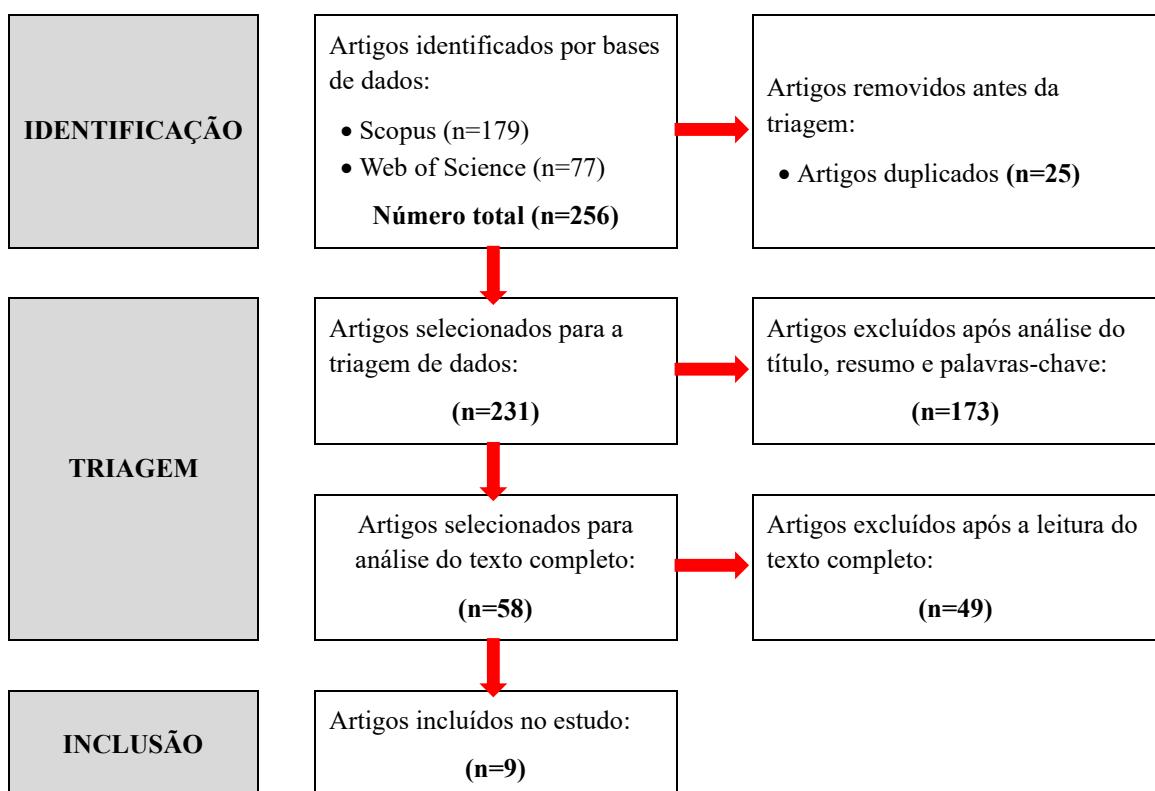
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise bibliométrica

Ao executar a busca pelos bancos de dados, foram encontrados 256 artigos, dos quais 77 (30,08%) foram encontrados na plataforma *Web of Science* e 179 (69,92%) na plataforma *Scopus*. Utilizando da função de remoção automática de artigos duplicados do StArt, 13 artigos foram eliminados, assim, 243 artigos foram considerados hábeis para seleção prévia. Após análise manual, mais 12 artigos duplicados foram eliminados. Ao aplicar os critérios de inclusão e exclusão, 173 artigos foram eliminados por não abordarem sobre: i) contaminação de águas subterrâneas derivada de esgoto doméstico; ii) sobre técnicas de identificação de contaminação ou iii) termos de busca no título, resumo ou palavras-chave.

Após a leitura completa dos 58 artigos obtidos, 49 foram rejeitados e apenas 9 foram aceitos e selecionados para inclusão no estudo. Todos os artigos aprovados para seleção final advêm da base de dados *Scopus*, conforme exposto na Figura 3 e no Quadro 3.

Figura 3. Diagrama representativo dos resultados da RSL.



Fonte: Autores, 2024.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v20i1.8325>

V. 22, N. 1 (2025)

Quadro 3 - Relação de artigos incluídos na pesquisa.

TÍTULO	AUTORIA	ANO	PAÍS	REVISTA
A - Total and faecal coliforms presence in cenotes of Cancun; Quintana Roo, Mexico.	Jessica Borbolla-Vazquez; Paul Ugalde-Silva; José León-Borges; Job Alí Díaz-Hernández	2020	México	BioRisk
B - Assessment of Groundwater Decontamination Processes around a Dismantled Septic Tank Using GIS and Statistical Analysis.	Tamás Mester; György Szabó; Zsófi Sajtos; Edina Baranyai; Emőke Kiss; Dániel Balla	2023	Hungria	Water Science and Technology
C - Analysis of Nitrate and Physicochemical properties of Ground and Underground Water in Northern Bijapur district, Karnataka India.	MS Yadawe; AS Pujar, US Pujeri; SC Hiremath	2011	Índia	Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences
D - Ground water quality in downtown Srinagar, Kashmir.	Adnan Abubakr; Neelofar; Nuzhat; M.R.D.Kundangar	2004	Índia	Ecology, Environment and Conservation
E - Identification of Water Contamination Sources Using Hydrochemical and Isotopic Studies—The Kozłowa Góra Reservoir Catchment Area (Southern Poland).	Kinga Sił'sarczyk; Sabina Jakóbczyk-Karpierz; Andrzej Jarosław Witkowski	2022	Polônia	Water Science and Technology
F - Groundwater chemical and fecal contamination assessment of the Jerba unconfined aquifer, southeast of Tunisia.	Faiza Souid; Belgacem Agoubi; Mohamed Hamdi; Faten Telahigue; Adel Kharroubi	2017	Tunísia	Arabian Journal of Geosciences
G - Combining boron isotopes and carbamazepine to trace sewage in salinized groundwater: a case study in Cap Bon, Tunisia.	Cary L.; Casanova J; Gaaloul N; Guerrot C	2013	Tunísia	Applied Geochemistry
H - Application of Factor and Cluster Analyses in the Assessment of Sources of Contaminants in Borehole Water in Tanzania.	Twaha A. Basamba; Kassim Sekabira; C. Mary Kayombo; Paul Ssegawa	2013	Uganda	Polish Journal of Environmental Studies
I - Avaliação da qualidade da água de poços tabulares do lençol freático na cidade de Paracuru-Ceará, Brasil.	Carlos Virgilio Aparecido do Vale Peixoto; Liana Johann	2021	Brasil	Revista Águas Subterrâneas

Fonte: Autores, 2024.

Quanto ao local de origem dos artigos, foi possível identificar que: um é do Brasil, um da Hungria, dois da Índia, um do México, um da Polônia, dois da Tunísia e um da Uganda. A Organização das Nações Unidas - ONU, classifica os países desenvolvidos usando como critério a sua posição no ranking de Índice de Desenvolvimento Humano - IDH (UNPD, 2020). Desse modo, foi possível observar que, 6 dos 9 artigos selecionados (67%) correspondem a países em desenvolvimento ou emergentes (considerando IDH entre 0,555 e 0,799, segundo a ONU); e 1 sendo considerado país de baixo desenvolvimento humano (IDH abaixo a 0,555). Desse modo, observa-se uma tendência de pesquisas quanto a métodos de identificar contaminação de águas subterrâneas como uma preocupação ainda recente em países em desenvolvimento ou de baixo desenvolvimento humano.

3.2 Sumarização dos artigos extraídos da análise bibliométrica

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v20i1.8325>

V. 22, N. 1 (2025)

 Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

A sumarização corresponde à síntese resultante dos artigos incluídos na pesquisa, elucidando o contexto no qual o estudo se inseria, o método utilizado, os resultados obtidos diante a eficácia do método adotado e as medidas paliativas sugeridas para as problemáticas encontradas. Assim, foi possível observar discrepâncias e congruências nos diversos artigos envolvidos, conforme disposto no Quadro 4.

Quadro 4 - Resumo dos artigos incluídos na pesquisa.

ID	AUTORIA	RESUMO
A	Borbolla-Vazquez et al. (2020)	Tanto o crescimento urbano acelerado quanto o desenvolvimento de novas atividades econômicas resultam na maior produção e descarte irregular de efluentes, como coliformes fecais, prejudicando a qualidade da água. Dessa forma, os autores partiram da identificação da presença e concentração dos coliformes fecais em dez cenotes (poços naturais) localizados na área urbana e proximidades de Cancún - México. A metodologia baseou-se na técnica de O Número Mais Provável (NMP) e a coleta de amostras foi realizada nos períodos secos e chuvosos. Como resultado, foi identificada a presença de coliformes em todas as áreas de estudo, com ênfase na maior concentração destes durante os períodos chuvosos. Sugeriu-se, então, a necessidade de identificação da origem dos poluentes e o impacto subsequente.
B	Mester et al. (2023)	Fossas sépticas são o método mais utilizado para a coleta de esgoto residual em todo o mundo, no entanto, tornou-se comum a construção de fossas sépticas não-isoladas. Para determinar os impactos de uma fossa séptica permeável na microrregião de Nagy-Sárrét, Hungria, foi utilizado de espectrometria de emissão atômica com plasma de micro-ondas para detecção de substâncias e o método de KMnO ₄ para determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO). Amostras foram retiradas sazonalmente em 10 poços de monitoramento ao redor da fossa numa área de 1100 m ² . Medições analíticas revelaram um nível significativo de contaminação das águas subterrâneas no período operacional da fossa séptica, com concentrações extremamente altas de NH ₄ ⁺ (>90 mg/L) e DQO sendo observadas. Além disso, foi detectada significativa melhoria na qualidade da água após o desmantelamento da fossa séptica. Logo, sugeriu-se o incentivo ao aumento da utilização de fossas sépticas isoladas.
C	Yadawe et al. (2011)	O nitrogênio, em ambientes com alta concentração de material orgânico, é decomposto e se torna nitrato. A alta concentração de nitrato em água potável, por sua vez, é um forte indicador da contaminação por infiltração de esgoto e, logo, um risco. Para investigar a qualidade da água em um distrito no nordeste de Bijapur, Karnataka - Índia, foram coletadas amostras e a quantidade de nitrato presente na água foi medida pelo Método do Ácido Fenoldisulfônico. Como resultado, foram encontradas algumas amostras com concentração elevada de nitratos, enquanto as demais apresentaram concentrações que se enquadravam nos limites padronizados. Se sugere que as atividades remediadoras devem focar nos fatores principais de origem, como nutrientes de atividades agrícolas e industriais.
D	Abubakr; Neelofar; Kundangar (2004)	No vale da Caxemira, dotado de recursos hídricos abundantes, há uma grande preocupação com o abastecimento de água potável nas áreas urbanas por conta da degradação dos corpos d'água. Nesse sentido, este estudo partiu da análise de dez fontes de água potável subterrânea utilizando o método adaptado de Winkler para a determinação de DQO; outros parâmetros químicos foram determinados de acordo com os métodos da American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), WPCF (1997) utilizando um espectrofotômetro DR-4000UV. Os resultados mostraram que as águas subterrâneas são alcalinas e apresentam alta condutividade; com concentração de diversos tipos de substâncias: cálcio, magnésio, ferro, fósforo, sulfatos, nitrato de nitrogênio, cloretos, ortofosfatos e nitrogênio amônico. Além disso, foram notados consideráveis valores de DBO devido à contaminação dos aquíferos por infiltração de esgoto doméstico. Sugeriu-se que as autoridades competentes fizessem um tratamento mais rigoroso da água antes da distribuição à população.

ID	AUTORIA	RESUMO
E	Śłósarczyk; Jakóbczyk-Karpierz e Witkowski (2022)	Segundo os autores, a aplicação conjunta de métodos, como o de análise hidroquímica e análise isotópica, facilita a compreensão da origem dos componentes químicos da água e também na identificação de contaminantes no meio aquático. Portanto, este estudo parte da identificação de fontes contaminantes que afetam a qualidade da água em Kozlowa Góra, sudeste da Polônia. Para isso, foram coletadas 100 amostras de água superficial e subterrânea. Parâmetros físico-químicos foram mensurados mediante visitas in loco. Também foi realizada análise química mediante laboratório e análise isotópica de enxofre e oxigênio usando o método de precipitação de SO_4^{2-} e BaSO_4 . Desse modo, foi constatado que a maior fonte de contaminação são as águas provenientes de esgotamento sanitário e atividades agropecuárias. Foi possível observar que as águas subterrâneas são amplamente prejudicadas pela infiltração de esgoto proveniente do vazamento de fossas sépticas. Sugeriu-se que o próprio estudo pudesse ser usado para novos estudos de monitoramento de origem e migração de microcontaminantes nas águas da região.
F	Souid <i>et al.</i> (2017)	No sudeste da Tunísia, no Mar Mediterrâneo, a Ilha de Jerba possui um clima semiárido, o que torna a água subterrânea da região a principal fonte de abastecimento de água. O estudo objetiva analisar a qualidade da água subterrânea a partir do método DRASTIC e definir as fontes de poluição presentes. Amostras de água de poços foram coletadas em 79 locais diferentes em 2014 durante a estação chuvosa, as quais tiveram sua condutividade elétrica, pH, sólidos totais dissolvidos (STD), traçadores principais e fecais (bactérias coliformes) analisados. Verificou-se que 63,29% das águas analisadas eram salgadas, 27,84% eram águas salobras e apenas 8,86% das águas eram consideradas doces. Foram detectadas altas concentrações de nitrato em 50,63% dos poços cujas águas foram amostradas. Coliformes termotolerantes e <i>Escherichia coli</i> foram detectados em todas as amostras. A descarga de esgoto doméstico foi apontada como principal fonte poluidora da ilha. Foi sugerida a redução de fontes fecais através da construção de latrinas dentro das normas de segurança.
G	Cary <i>et al.</i> (2013)	Na costa leste de Cabo Bon, Tunísia, a sobre-exploração causou degradação do aquífero de Korba, resultando na invasão do aquífero pela água do mar e contaminação por esgoto doméstico. Desta forma, este estudo objetivou detectar a contaminação por esgoto doméstico analisando a presença de Boro, a partir da técnica TIMS-positiva Cs_2BO_3 , método descrito por Millot <i>et al.</i> (2011), e de Carbamazepina (um remédio antiepileptico) a partir de extração em fase sólida on-line acoplada ao sistema LC-ESI-MS/MS; em amostras coletadas de piezômetros de controle e poços privados durante os verões de 2009 à 2011. Os resultados apresentaram traços de Boro nas águas subterrâneas e nas águas oriundas de tratamento de esgoto, havendo quantidades consideráveis de carbamazepina nas águas tratadas. Portanto, o sistema de tratamento de esgoto foi denominado como ineficiente e deve ser altamente aprimorado antes de devolver as águas tratadas à natureza.
H	Basamba. <i>et al.</i> (2013)	Muitos países em desenvolvimento, devido ao crescimento populacional, sofrem com a crescente indisponibilidade de água potável, que se tornou mais crítica por conta da contaminação por esgoto doméstico e efluente industrial. Este estudo visa avaliar a qualidade da água na cidade de Dar es Salam, Tanzânia. A água foi coletada em 16 poços tubulares distribuídos por diferentes regiões da cidade, ao longo de quatro meses, e analisada em laboratório pelo método de fermentação em tubos múltiplos. Os resultados indicaram concentrações elevadas de cálcio e de sólidos totais dissolvidos (STD) em todas as amostras analisadas, bem como a presença de alumínio em algumas delas. Nas escolas Shauri Moyo e Kigog, os coliformes totais ultrapassaram os limites permitidos, indicando a necessidade de tratamento ou fervura da água antes do consumo.
I	Peixoto e Johann (2021)	Atualmente, o ritmo do crescimento populacional das cidades brasileiras é mais acelerado do que a construção de obras de infraestrutura capazes de suportar esse crescimento, levando a serviços de saneamento deficientes. Neste estudo, buscou-se caracterizar os recursos hídricos subterrâneos da cidade de Paracuru-CE através da análise de amostras de 20 poços artesianos antes e depois do Verão de 2019. Qualidade da água e número de colifagós foram determinados a partir de métodos padrões da APHA. Os números de coliformes totais, fecais e de estreptococos fecais foram determinados através da técnica de membrana filtrante, utilizando-se de M-ENDO ÁGAR, MFC-ÁGAR e KF Streptococos Ágar como meios de cultura. Dentre os resultados apresentados, observou-se que 35% das amostras de água estão contaminadas por bactérias heterotróficas, 90% com coliformes fecais e 15% com <i>Escherichia coli</i> .

Fonte: Borbolla-Vazquez *et al.* (2020); Mester *et al.* (2023); Yadawe *et al.* (2011); Abubakr; Neelofar; Kundangar (2004); Śłósarczyk; Jakóbczyk-Karpierz e Witkowski (2022); Souid *et al.* (2017); Cary *et al.* (2013); Basamba. *et al.* (2013); Peixoto e Johann (2021); Org. pelos Autores, 2024.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24021/raac.v20i1.8325>

V. 22, N. 1 (2025)



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

3.3 Técnicas de identificação de contaminação de águas subterrâneas por esgoto doméstico encontradas na literatura

Quanto à seleção de métodos para identificação de contaminação, os artigos sumarizados apresentaram plurais metodologias, entre elas: análise estatística como agrupamento hierárquico, análise de componente principal e discriminante; ferramentas auxiliadoras como SIG e Mapa de Elevação Global ASTER; e instrumentos laboratoriais como espectrômetros e cromatógrafos.

Desse modo, é nítido que os procedimentos metodológicos variaram de acordo com a caracterização do objeto de estudo ou da área a ser estudada. Todavia, de uma maneira geral, é observável uma tendência de funcionamento processual nos métodos utilizados, sendo estas: coleta de amostras; análise laboratorial a fim de identificar presença de matéria orgânica ou de substâncias característicos de esgoto doméstico; e determinação do nível de contaminação dos corpos d'água amostrados.

Dos 9 artigos analisados, 6 artigos (A, B, D, F, H e I) utilizaram de métodos de detecção de matéria orgânica, dos quais 4 artigos (A, F, H e I) buscaram por Coliformes Fecais e 2 (B e D) por Demanda Química de Oxigênio (DQO). Os 3 artigos restantes (C, E e G) buscavam por contaminação por substâncias derivadas de esgoto doméstico como nitratos, fosfatos, substâncias artificiais ou metais pesados. Para a busca completa destes contaminantes, todos os artigos utilizaram de análise extensiva de amostras de água das suas áreas de estudo.

Apesar de serem diferentes, os métodos utilizados por alguns artigos são similares em funcionamento ou em objetivo. Para a identificação dos micróbios presentes nas amostras, 3 artigos (A, F e I) utilizaram de métodos padronizados pela APHA para a filtração e produção de meios de cultura para o desenvolvimento das bactérias, enquanto 1 (H) utilizou do processo de fermentação similar ao anterior. Para a determinação de DQO, os 2 artigos (D e B) utilizaram do método de Winkler, porém o artigo D adaptou tal método para utilizar o Sulfato de Manganês ($MnSO_4$), ao invés de Permanganato de Potássio ($KMnO_4$), como fez o artigo B.

O método utilizado pelo artigo A para determinar coliformes totais foi o método de Número Mais Provável onde, inicialmente, adicionam-se as amostras de água em tubos com meio líquido rico em lactose. Após incubação por 48 horas para coliformes totais e 24 horas para coliformes fecais, os tubos que apresentarem turbidez e presença de gás são dados como positivos para a presença de coliformes. Em seguida, se calcula o número de microrganismos em uma amostra de 100 ml comparando o número de tubos positivos com tabelas estatísticas listadas na norma mexicana NMX-AA042-SCFI-2015 (México, 2015). Tal método é similar aos métodos utilizados pelos artigos F, H e I.

Quanto aos métodos de identificação de substâncias nas amostras de água, 4 artigos utilizaram de espectrometria (B, D, E e G), 2 artigos usaram cromatografia (F e G) e 1 usou do método do ácido fenoldissulfônico (C). Estes métodos são usados para detectar, principalmente, a presença de nitratos, substâncias abundantes em águas residuais domésticas. A espectrometria é uma técnica que detecta a razão massa sobre a carga (m/z) de íons, os quais são provenientes de uma fonte de ionização. Esta fonte gera íons na fase gasosa, a partir de moléculas neutras ou de moléculas carregadas (Abdelnur, 2011). Cromatografia é uma técnica usada para a separação dos componentes de uma mistura. A separação cromatográfica é baseada na distribuição dos componentes entre uma fase estacionária e uma fase móvel. Esta separação resulta das diferenças de velocidade dos componentes arrastados pela fase móvel devido às diferentes interações com a fase estacionária (Peres, 2002). A partir dos resultados, pode-se determinar quais tipos de substâncias estão presentes em uma determinada amostra. Além dos dois primeiros métodos anteriores, 1 artigo também utilizou de ponteiometria (G) para a detecção de bicarbonatos e extração de fase sólida para a detecção de

carbamazepina, que é um antiepileptico característico do esgoto doméstico, conhecido por não ser removido mesmo após o tratamento do esgoto.

Quanto às soluções dadas pelos autores para os problemas encontrados de contaminação, 3 artigos (A, C e E) enfatizaram a importância na identificação das fontes de poluição, recomendando-se o monitoramento dos processos de migração dos contaminantes para subsidiar as autoridades competentes no controle da introdução de poluentes na água destinada ao consumo humano. Nesse contexto, 3 artigos focaram na descarga do esgoto (B, F e G), onde 2 artigos sugeriram a construção de fossas sépticas dentro das normas regulamentadoras para a população (B e F) e 1 artigo sugeriu um tratamento de esgoto mais rigoroso (G). Além disso, 2 artigos sugerem a melhoria do tratamento da água antes do envio ao consumidor (D e H).

Quanto à origem dos poluentes no esgoto, além de águas residuais domésticas, 6 artigos (C, D, E, F, G e H) citam, também, atividades agrícolas e/ou industriais como outras fontes poluidoras. Observa-se, portanto, que a contaminação da água se configura como um fenômeno mais complexo do que se poderia supor em uma análise preliminar.

3.4 Aplicação das técnicas encontradas em eventuais casos de contaminação em Itaituba-PA

A fim de analisar a qualidade da água provenientes de poços tubulares na área urbana do município de Itaituba, Baima *et al.* (2023) coletaram amostras de 6 poços tubulares nos principais bairros da cidade, em pontos comerciais e de distribuição de água com duas ou mais torneiras de acesso público para captação, a fim de realizar análise físico-química e análise microbiológica. Para tal, as amostras foram analisadas no laboratório de análises de água do Vigiágua –Vigilância da Água, da Vigilância em Saúde, Secretaria de Saúde - Prefeitura Municipal de Itaituba, mediante o Manual Prático de Análise de Água da Funasa (Brasil, 2013), avaliando os parâmetros de cloreto, turbidez, coliformes totais e coliformes termotolerantes. Assim, os autores puderam obter como resultados análises de qualidade de água dentro da normalidade, destacando: ausência de cloro residual livre (CRL) na maioria dos pontos, podendo permitir a presença de patógenos; identificação da presença de coliformes totais em 2 poços observados, podendo indicar a proliferação de bactérias e, logo, doenças de veiculação hídrica. Por fim, os autores concluem ressaltando a aprovação dos pontos de distribuição de água como apropriados, porém ressaltam o risco do abastecimento público proveniente de poços tubulares diante de um cenário de falta ou precariedade do saneamento básico, colaborando como uma grave problemática de saúde pública uma vez que impacta diretamente na segurança e qualidade da água. Logo, é sugerido investimentos no sistema de tratamento e distribuição de água para toda população da cidade de Itaituba/PA.

Do mesmo modo, Brito, Frederico, Melo (2021), considerando que em Itaituba a maior parte da população não é abastecida por um sistema de distribuição de água, portanto, utilizam de poços tubulares próprios ou comunitários; visaram analisar a qualidade da água consumida pelos moradores locais. Para tal, foi realizada a coleta de 4 amostras em 2 pontos próximos ao Auto Posto Dado, Bairro da Floresta, às margens da Rodovia Transamazônica. Para a coleta das amostras foi utilizado o método da mão limpa versus mão suja. Os parâmetros físico-químicos analisados foram: pH, cor, turbidez; e microbiológicos: Coliformes totais e *Escherichia coli*. Para tal, as metodologias utilizadas avaliaram: o pH das amostras, através de um pH-metro devidamente calibrado; turbidez, com um turbidímetro; cor, pelo método de comparação visual com o disco de cor; análises microbiológicas, por meio de Colilert, tanto para detecções e confirmação de coliformes totais e *Escherichia coli* de água tratada. Desse modo, os autores puderam obter: valores de pH, turbidez e cor dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente (Brasil, 2017); todas as amostras apresentaram resultados insatisfatórios do ponto de vista microbiológico, segundo a legislação

vigente, com destaque a presença de tanto de coliformes totais quanto *Escherichia coli*, indicando que a água é imprópria para consumo humano, conforme Brasil (2017). Além disso, os autores ressaltam que a água dos pontos de distribuição é obtida diretamente em torneiras, sem nenhum tratamento prévio, estando fora dos padrões de potabilidade definido pela legislação. Por isso, considerou-se como necessária uma constante monitoração, em parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade da água; assim como a adoção de medidas para o tratamento alternativo da água, garantindo as condições de potabilidade exigidas.

Dessa forma, considerando os resultados obtidos mediante RSL e aplicação prática em casos locais, se indica a realização de coleta de amostras e análise laboratorial, sobretudo de parâmetros microbiológicos, como o método de mais fácil aplicação e controle na cidade de Itaituba. Do mesmo modo, considerando a dificuldade de avaliação de um corpo d'água confinado e notando que a coleta de amostras é premeditada por indícios, muitas vezes já consumados, de contaminação (como a falta de saneamento básico); se faz necessária a criação de um programa regular de controle de qualidade a fim de garantir as condições de potabilidade de forma simples e periódica. Tal qual dispõe os princípios do Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiágua), conforme Brasil (2024), uma vez que consiste no conjunto de ações adotadas continuamente pelas autoridades de saúde pública nas diferentes esferas de atuação, a fim de garantir à população o acesso à água em quantidade compatível com a demanda e padrão de potabilidade estabelecido mediante legislação vigente.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas subterrâneas desempenham um papel fundamental no abastecimento humano e na manutenção dos ecossistemas. No entanto, sua disponibilidade está cada vez mais ameaçada, especialmente pela contaminação proveniente de esgoto doméstico e outras fontes poluidoras, o que representa riscos tanto à saúde humana quanto ao meio ambiente.

Por estarem localizadas sob a superfície, essas fontes são mais difíceis de monitorar, o que torna a gestão dos recursos hídricos um grande desafio. Nesse contexto, o estudo das técnicas de identificação de contaminação de águas subterrâneas é essencial, pois revela a complexidade e a urgência desse problema ambiental, que afeta tanto a saúde pública quanto a engenharia sanitária. A contaminação, muitas vezes, resulta da infiltração inadequada de esgotos domésticos, fruto de sistemas de esgotamento mal planejados ou ineficazes.

A análise de diferentes métodos, desde os tradicionais até os mais avançados tecnologicamente, reforça a necessidade de uma abordagem integrada e abrangente para a detecção de diversas fontes poluidoras. Este estudo evidenciou que as técnicas mais comumente utilizadas para identificar a contaminação por esgoto doméstico incluem a amostragem de água, análise laboratorial por espectroscopia para detectar substâncias químicas, e a filtragem com produção de meios de cultura bacteriana para a detecção de coliformes fecais. No entanto, essas técnicas geralmente são aplicadas quando o risco de contaminação já é elevado ou quando já há registros de doenças de veiculação hídrica.

Dada a diversidade das vias de transmissão de doenças relacionadas à água contaminada, torna-se essencial adotar medidas preventivas, como sugerem Madriles *et al.* (2024). A amostragem regular da água subterrânea continua sendo uma das formas mais eficazes para identificar contaminantes e suas fontes, sendo recomendável a implementação de programas de monitoramento sistemático dos poços públicos.

Baseado nas técnicas elencadas, para Itaituba-PA se indica a realização de coleta de amostras de água e análise laboratorial, sobretudo de parâmetros microbiológicos, como um método possível

de aplicação e controle na cidade. Em linhas gerais, acredita-se que a pesquisa em tela possa servir como base para a formulação de políticas e práticas que visem mitigar os impactos da contaminação por esgoto doméstico, especialmente no território itaitubense.

5. REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas Brasil - abastecimento urbano de água: panorama nacional**. Brasília, 2010.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas Águas - segurança hídrica do abastecimento urbano**. Brasília, 2021.

ABDELNUR, Patrícia Verardi. Metabolômica e Espectrometria de Massas. **Circular Técnica**, 10. 1. ed. Brasília, 2011.

ABUBAKR, Adnan; NEELOFAR, Nuzhat; KUNDANGAR, M. R. D. Ground Water Quality in Downtown Srinagar, Kashmir. **Ecology Environment and Conservation**, v. 10, n. 4, p. 523-532, 2004.

BAIMA, Suede Fernanda Santos; ABOIM, Everlana da Cunha; ALMEIDA, Andressa Diniz Simões de; NASCIMENTO, Wanderson da Silva do; SOARES, Handrei Matheus de Souza; LIRA, João Rafael de Sousa. Análise da qualidade da água de poços tubulares na zona urbana de Itaituba, Pará, Brasil. **Águas Subterrâneas**, v. 37, n. 1, p. e-30213, 2023.
<https://doi.org/10.14295/ras.v37i1.30213>.

BASAMBA, Twaha A.; SEKABIRA, Kassim; KAYOMBO, C. Mary; SSEGAWA, Paul. Application of factor and cluster analyses in the assessment of sources of contaminants in borehole water in Tanzania. **Pol. J. Environ. Stud.**, v. 22, n. 2, p. 337-346, 2013.

BORBOLLA-VAZQUEZ, Jessica; UGALDE-SILVA, Paul; LEÓN-BORGES, José; DÍAZ-HERNÁNDEZ, Job Alí. Total and faecal coliforms presence in cenotes of Cancun; Quintana Roo, Mexico. **BioRisk**, v. 15, p. 31-43, 2020. <https://doi.org/10.3897/biorisk.15.58455>.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 4. Ed. Brasília: Funasa, 2013. 150 p.

BRASIL. **Lei nº 11.455, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Diário Oficial da União, Brasília. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 28 nov. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Lei nºs 9.984, de 17 de julho de 2000, 10.768, de 19 de novembro de 2003, 11.107, de 6 de abril de 2005, 11.445, de 5 de janeiro de 2007, 12.305, de 2 de agosto de 2010, 13.089, de 12 de janeiro de 2015, e 13.529, de 4 de dezembro de 2017. Diário Oficial da União, Brasília. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 28 nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº5 de 28 de setembro de 2017.** Dispõe a consolidação das normas sobre as ações e serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2017. Disponível em: http://www.portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf. Acesso em: 24 set. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano.** 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/ptbr/composicao/seidigi/demas/situacao-de-saude/vigiagua>. Acesso em: 24 set. 2024.

BRITO, Brendson Carlos; FREDERICO, Jéssica da Silva Linhares; MELO, Sérgio de. Análise físico-química e microbiológica da água de poços localizados no município de Itaituba-PA. In: **Anais do XIX Encontro de Estudos e Debates sobre Águas Doces de Santarém e do Baixo Amazonas.** Anais... Santarém (PA) on-line, 2021. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/FOPIESS2021/336623-ANALISE-FISICO-QUIMICA-EMICROBIOLOGICA-DA-AGUA-DE-POCOS-LOCALIZADOS-NO-MUNICIPIO-DEITAITUBA-PA>. Acesso em: 24 set. 2024.

CARY, Lise; CASANOVA, Joël; GAALOUL, Noureddine; GUERRROT, C. Combining boron isotopes and carbamazepine to trace sewage in salinized groundwater: a case study in Cap Bon, Tunisia. **Applied Geochemistry**, v. 34, p. 126-139, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.03.004>.

HIRATA, Ricardo; SUHOGUSOFF, Alexandra Vieira; MARCELLINI, Silvana Susko; VILLAR, Pilar Carolina; MARCELLINI, Laura. **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento.** São Paulo: Instituto Trata Brasil, 2019. 35 p. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Estudo_aguas_subterraneas_FINAL.pdf. Acesso em 29 nov. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama da cidade de Itaituba-PA.** 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/itaituba/panorama>. Acesso em: 27 dez. 2023.

INFOSANBAS. **Informações sobre o Saneamento Básico de Itaituba-PA.** 2024. Disponível em: <https://infosanbas.org.br/municipio/itaituba-pa/>. Acesso em: 15 jun. 2024.

LaPES UFScar. Laboratório de Pesquisa E Engenharia de Software da Universidade Federal de São Carlos. **Termos e Condições de Uso da Ferramenta StArt.** São Carlos: USFcar, 2017. Disponível em: <https://www.lapes.ufscar.br/resources/tools-1/start-1>. Acesso em: 6 mar. 2024.

LIMA, Felipe Thiago da Silva; PEREIRA, Cristiane de Souza Siqueira; PEREIRA, André Rodrigues; CÂNDIDA, Flaviane de Fátima de Sousa. Projeto de implantação de sistema de fossa séptica biodigestora e clorador no Sítio Rio Manso/RJ. **Revista Fluminense de Extensão Universitária**, v. 2, n. 2, p. 11-26, 2012. <http://192.100.251.116/index.php/RFEU/article/view/554>

MADRILES, Flávio Pereira; JACINTO, Gesisleu Darc; SILVA, José Paulo da; REIS, Jucimar Alves dos. Microorganismos patogênicos presentes em águas contaminadas. In: Seven Editora. **Agricultural and Biological Sciences: Foundations and Applications**. 1. Ed. São José dos Pinhais: Seven Editora, 2024. p. 83-95. <https://doi.org/10.56238/sevened2024.023-007>.

MESTER, Tamás; SZABÓ, György; SAJTOS, Zsófi; BARANYAI, Edina; KISS, Emőke; BALLA, Dániel. Assessment of Groundwater Decontamination Processes around a Dismantled Septic Tank Using GIS and Statistical Analysis. **Water**, v. 15, n. 5, p. 884, 2023. <https://doi.org/10.3390/w15050884>.

MORELO, Monik. A Educação Ambiental: Uma Abordagem Sobre a Água. **Revista Primeira Evolução**, v. 1, n. 52, p. 151-157, 2024. Disponível em: <https://primeiraevolucao.com.br/index.php/R1E/article/view/607>. Acesso em: 27 ago. 2024.

MÉXICO. Secretaría de Economía. Norma Mexicana. NMX-AA-042-SCFI-2015. **Análisis de agua, enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli. Método del número más probable en tubos múltiples**. México D.F., 29 p., 2015. Disponível em: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166147/nmx-aa-042-scfi-2015.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.

PEIXOTO, Carlos Virgilio Aparecido do Vale; JOHANN, Liana. Avaliação da qualidade da água de poços tabulares do lençol freático na cidade de Paracuru-Ceará, Brasil. **Águas Subterrâneas**, v. 35, n. 1, p. 1-5, 2021. <https://doi.org/10.14295/ras.v35i1.30002>

PERES, Terezinha Bonanho. Noções básicas de cromatografia. **Biológico**, v. 64, n. 2, p. 227-229, jul./dez., 2002. Disponível em: <https://primeiraevolucao.com.br/index.php/R1E/article/view/60> http://www.biologico.agricultura.sp.gov.br/uploads/docs/bio/v64_2/peres.pdf. Acesso em: 27 ago. 2024.

RIBEIRO, Gabrielle França; PROENÇA, Júlia Elizabeth; ANGELO, Natalia Maria Martinazzo; CRUZ, Sonia Purin da. Ocorrência de coliformes fecais e resistência a antibióticos em água empregada para fins de dessedentação animal em Curitibanos–SC. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 19, n. 1, p. 01-14, 2021. <https://doi.org/10.24021/raac.v19i1.6217>.

ROJAS, Camila; TORRES, David. Revisiones sistemáticas. **Rev Chil Anest**, v. 43, p. 339-342, 2014.

SILVA, André Luiz da.; VIEIRA, Fernando Fernandes. Exploração multifatorial da dinâmica de poluentes em aquíferos: uma análise dos principais efeitos e interações via modelagem e simulação computacional. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 1, p. 7530–7551, 2024. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.1-454>.

ŚLÓSARCZYK, Kinga; JAKÓBCZYK-KARPIERZ, Sabina; WITKOWSKI, Andrzej Jarosław. **Identification of Water Contamination Sources Using Hydrochemical and Isotopic Studies—The Kozłowa Góra Reservoir Catchment Area (Southern Poland)**. **Water**, v. 14, n. 6, p. 846, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14060846>

SNIS. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Série histórica do município de Itaituba-PA**. 2021. Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/localidade?id=150360>. Acesso em: 29 nov. 2023.

SOID, Faiza; AGOUBI, Belgacem; HAMDI, Mohame; TELAHIGUE, Faten; KHARROUBI, Adel. **Groundwater chemical and fecal contamination assessment of the Jerba unconfined**

aquifer, southeast of Tunisia. Arabian Journal of Geosciences, v. 10, p. 1-16, 2017.
<https://doi.org/10.1002/hyp.9207>

UNPD. Unidades Nations Development Programme. **Human Development Reports: Human Development Insights.** 2020. Disponível em: <https://hdr.undp.org/data-center/countryinsights#/ranks>. Acesso em: 21 set 2024.

YADAWE, M. S.; PUJAR, A. S.; PUJER, U. S.; HIREMATH, S. C. Analysis of nitrate and physicochemical properties of ground and underground water in northern Bijapur district, Karnataka India. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences**, v. 2, n. 4, p. 1086-1090, 2011.

ZEKTSER, Igor S.; EVERETT, Lorne G. **Groundwater resources of the world and their use.** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – UNESCO, ISBN: 92-9220-007-0, Paris, 2004. 346 p. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000134433>. Acesso em: 23 set. 2024.