



Karine da Silva Fregulia

ÁGUA SUBTERRÂNEA: uma releitura sobre as formas de contaminação

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Banca Examinadora do
Centro Universitário Presidente Antônio
Carlos, como exigência parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Biomedicina

Juiz de Fora
2022

Karine da Silva Fregulia

**ÁGUA SUBTERRÂNEA: uma releitura sobre as formas de
contaminação**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Banca Examinadora do
Centro Universitário Presidente Antônio
Carlos, como exigência parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Biomedicina.

Orientador: Dra. Joana Darc Souza
Chaves

Juiz de Fora
2022

Karine da Silva Fregulia

**ÁGUA SUBTERRÂNEA: uma releitura sobre as formas de
contaminação**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Joana Darc Souza Chaves

Prof. Ms. Anna Marcella Neves Dias

ÁGUA SUBTERRÂNEA: UMA RELEITURA SOBRE AS FORMAS DE CONTAMINAÇÃO

GROUNDWATER: A RELECTION ON FORMS OF CONTAMINATION

KARINE DA SILVA FREGULIA ¹, JOANA DARC SOUZA CHAVES ²

Resumo

Introdução: As águas subterrâneas são encontradas sob a superfície da terra, preenchendo totalmente os poros das rochas e dos sedimentos, dando origem aos aquíferos. No Brasil, as águas subterrâneas são geralmente usadas para abastecimento, retiradas por meio dos poços tubulares. O uso inadequado desses poços e do solo acarretará como consequência, alterações dos processos físicos, químicos e biológicos do sistema, levando assim à contaminação dos aquíferos. Dentre os meios de contaminação, podem ser citados como principais: vazamento das redes coletoras de esgotos, uso incorreto de agrotóxicos e fertilizantes, vazamento de tanques de combustíveis e entre outros. **Objetivo:** Relatar sobre as contaminações da água subterrânea ocasionadas por vazamento de combustíveis e por agrotóxicos. **Métodos:** Foi realizada uma revisão bibliográfica e reunião de informações selecionadas em plataformas virtuais tais como: *Scielo, Google Acadêmico e Revistas Vituais*. **Revisão de literatura:** As contaminações por meio de combustíveis decorrem do escape desses fluidos dos tanques de combustíveis submersos no solo, fazendo com que os combustíveis entrem em contato com as águas subterrâneas, provocando uma exposição na microbiota das águas e para os seres vivos que fazem uso dessas águas como fonte de abastecimento. Nas contaminações por agrotóxicos, seus componentes se dissipam pelos rios, encharcam o solo e alcançam as águas subterrâneas, alterando a biota, selecionando espécies mais resistentes e gerando o acúmulo de compostos químicos nocivos por toda a cadeia alimentar. **Considerações finais:** O estudo realizado mostrou que a contaminação das águas subterrâneas por combustíveis e agrotóxicos é uma realidade no Brasil, demonstrando que existe uma elevada concentração das ocorrências nos grandes centros urbanos e áreas agrícolas, onde se localizam as principais reservas hídricas.

Descritores: Contaminação das águas subterrâneas; Combustíveis; Agrotóxicos.

Abstract

Introduction: Groundwater is found under the surface of the earth, completely filling the pores of rocks and sediments, giving rise to aquifers. In Brazil, groundwater is generally used for supply, withdrawn through tubular wells. The inappropriate use of these wells and the soil will result in changes in the physical, chemical and biological processes of the system, thus leading to contamination of aquifers. Among the means of contamination,

¹ Acadêmica do Curso de Biomedicina do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos –UNIPAC – Juiz de Fora –MG

² Química, Professora do Curso de Biomedicina do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos – UNIPAC, doutorado

the main ones can be cited: leaking sewage collection networks, incorrect use of pesticides and fertilizers, leaking fuel tanks, among others. **Objective:** Report on groundwater contamination caused by fuel leakage and pesticides. **Methods:** A bibliographic review was carried out and selected information gathered on virtual platforms such as: *Scielo, Google Scholar and Revistas Vituais*. **Literature review:** Contamination through fuel is a result of instant fluids escape submerged from fuel tanks in the ground, causing fuel to come into contact with groundwater, causing an exposure of the microbiota of the water and for the living things that use these water as a source of supply. In contamination by pesticides, its components waste through rivers, soak the soil and reach the groundwater. This type of contamination changes the biota, selecting more resistant species and generates the accumulation of harmful chemicals compounds throughout the food chain. **Final considerations:** The study carried out showed that the groundwater contamination by fuel and pesticides is a reality in Brazil, demonstrating that there is a high concentration of occurrences in large urban centers and agricultural areas, where the main water reserves are located.

Keywords: Groundwater contamination; fuels; Pesticides.

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas representam um recurso natural muito importante para a vida e a integridade do meio ambiente, simbolizando mais de 95% das reservas de água doce exploráveis do planeta. Mais de 50% da população mundial necessita dessas águas que são encontradas sob a superfície da Terra, ocupando os espaços vazios que existem entre os grãos do solo, rochas e fissuras (rachaduras, quebras, descontinuidade e espaços vazios). As águas subterrâneas que estão contidas nos solos e formações geológicas permeáveis são denominadas de aquífero. Em geral, os aquíferos têm a capacidade de armazenar grande quantidade de água. ^{1,2}

No Brasil, essas águas são extraídas por uso de poços tubulares (comumente chamados como artesianos ou semiartesianos), de poços escavados e de nascentes. Os poços tubulares são os mais utilizados, pois eles extraem os maiores volumes de água subterrânea para a evolução de atividades econômicas de quaisquer localidades. ³

Apesar da construção desses poços trazerem muitos benefícios, principalmente para populações que vivem em áreas com escassez hídrica, existem alguns fatores que interferem diretamente na qualidade da água, exigindo ações de preservação das reservas hídricas subterrâneas e do meio ambiente. ⁴

A ocupação e o uso indevido do solo pela sociedade, traz como consequência a alteração dos processos físicos, químicos e biológicos dos sistemas naturais, levando assim à contaminação dos aquíferos. ⁵

O solo tem sido utilizado para disposição dos resíduos gerados nas atividades

humanas, devido possuírem certa capacidade de atenuar e depurar a maior parte dos resíduos. Entretanto, a quantidade e a composição dos resíduos e efluentes gerados vêm ultrapassando a capacidade do solo em reter os poluentes, ocasionando assim a contaminação das águas subterrâneas. Apesar das águas subterrâneas serem mais protegidas que as superficiais, essas podem ser poluídas quando os poluentes atravessam a porção não saturada do solo.⁶

Como fontes de contaminação da água subterrânea, podemos citar o descarte de produtos, efluentes e resíduos em atividades industriais, os lixões, os aterros sanitários mal operados, os vazamentos das redes coletoras de esgotos, o uso incorreto de agrotóxicos, fertilizantes e vazamento de tanques de combustíveis. Outra forma de poluição, citada, consiste no lançamento dos poluentes diretamente no aquífero, através de poços absorventes, sem atravessar o solo.⁶

No Brasil, a crescente contaminação das águas subterrâneas por combustíveis vem sendo alvo intenso de pesquisas, uma vez que os compostos presentes nos combustíveis derivados de petróleo são extremamente prejudiciais à saúde humana, podendo inviabilizar a exploração dos aquíferos contaminados por eles.⁷

O risco de contaminação dos recursos hídricos por agrotóxicos constitui motivo de preocupação para a saúde pública e ambiental. A ingestão de água e de alimentos contaminados por agrotóxicos pode ocasionar o seu acúmulo no organismo, desencadeando diversas doenças como: alterações imunológicas e desregulação endócrina.⁸

Devido à elevada solubilidade, a baixa adsorção à matéria orgânica no solo e a alta meia-vida, alguns agrotóxicos tendem a atingir o lençol freático, potencializando a contaminação das águas subterrâneas.⁸

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo relatar sobre as contaminações da água subterrânea ocasionadas por vazamento de combustível e por agrotóxicos quando presentes no solo.

MÉTODOS

Foi realizada uma revisão bibliográfica utilizando buscas nas seguintes bases de dados: *Scielo*, *Google Acadêmico*, *Revistas Virtuais*. Foram utilizados para busca descritores como: contaminação de águas subterrâneas, vazamento de combustíveis, lençol freático e, contaminações por agrotóxicos. Os artigos utilizados foram os

publicados entre o período de 1997 a 2022.

TIPOS DE CONTAMINAÇÃO

Contaminação por vazamento de combustível

A contaminação das águas subterrâneas por derivados de petróleo tem chamado atenção de forma mais intensa nos meios acadêmicos e empresariais no Brasil, após ser considerada um dos mais graves problemas ambientais em países industrializados como a Alemanha, a Inglaterra e, principalmente, os Estados Unidos.⁷

Conforme a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), o setor de postos de combustível é o responsável pelo maior número de áreas contaminadas no estado de Minas Gerais, totalizando 74%. Logo em seguida estão a indústria metalúrgica (7%), as ferrovias (6%), o refino e armazenamento de petróleo (2%), as atividades minerárias (2%), a base de combustíveis (2%) e a indústria química (1%).⁹

Um posto de abastecimento de combustível, também conhecido por posto de gasolina, é compreendido por duas estruturas: uma instalação de acesso comum, onde ocorre o processo de abastecimento e outra, abaixo desta, onde estão os tanques subterrâneos cheios de subproduto de petróleo (reservatórios). Alguns tanques estão em uso há mais de uma década e com o tempo são corroídos e a infiltração de combustíveis contaminam o solo e as águas subterrâneas, ocasionando um grande impacto à saúde pública e ambiental.¹⁰

Composição físico-química dos combustíveis: gasolina e óleo diesel

A gasolina e o óleo diesel consistem em misturas complexas, compostas por mais de duzentos hidrocarbonetos, obtidos através da destilação e craqueamento do petróleo. Enquanto a gasolina possui cadeias com 5 a 12 átomos de carbono (hidrocarbonetos mais leves), o óleo diesel contém uma proporção maior: cadeias com 6 a 22 átomos de carbono (hidrocarbonetos um pouco mais pesados). Comparando esses dois poluentes, verificou-se que a gasolina apresenta maior solubilidade em meio aquoso, maior volatilidade e menor viscosidade, conferindo-lhe uma maior mobilidade no solo e, por consequência, maior potencial de impacto ambiental.⁷

Em uma infiltração de óleo diesel no solo, observou-se que o tempo de percolação é bem maior que o da gasolina, devido a sua mobilidade e potencial de absorção ao solo ser moderado. Porém, esse contaminante atinge o nível d'água deixando, ao longo de

seu percurso, um rastro de saturação residual na zona não saturada do lençol freático. Por serem menos densos que a água, seus componentes permanecem acima do nível do lençol freático como fase livre em uma pluma, com migração bem mais lenta que a da gasolina e com solubilidade bastante baixa. No entanto, mesmo que sua dissolução na água seja baixa, a contaminação é preocupante, devido ao fato de que muitos de seus componentes são classificados como carcinogênicos.¹¹

Quando há presença de gasolina e óleo diesel no solo, a preocupação quanto à contaminação, é voltada para os poços artesianos e para aquíferos que são usados como fonte de abastecimento de água para consumo humano. Com a infiltração de gasolina, são lançados no subsolo seus mais de cem componentes, que estarão presentes como líquido de fase não aquosa, mas que, ao entrarem em contato com a água subterrânea, esses compostos tóxicos se dissolveram parcialmente, contaminando o lençol freático.¹²

O benzeno, o tolueno, o etilbenzeno e os xilenos são hidrocarbonetos aromáticos presentes na gasolina e no óleo diesel, que estão entre os compostos mais solúveis e mais tóxicos para o organismo humano. São poderosos depressores do sistema nervoso central, denominados de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno). Esses poluentes apresentam toxicidade crônica e, dentre as substâncias citadas, o benzeno é a mais tóxica por se tratar de uma substância comprovadamente cancerígena, podendo causar leucemia (câncer dos tecidos que formam os linfócitos do sangue), mesmo se ingerida em baixas concentrações durante um período de tempo não muito longo.⁷

Conforme o parâmetro de potabilidade, observou-se que o valor máximo permitido para as substâncias orgânicas que representam risco à saúde como o BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) pela Portaria GM/MS nº 888/21, é de: 5 µg/L para o benzeno de; 30 µg/L para o tolueno; 300 µg/L para o etilbenzeno e 500 µg/L para os xilenos.¹³

Regiões contaminadas por combustível

Estudos realizados em diferentes pontos de amostras de água subterrânea (poços 1, 2, 3 e 4) descrito na literatura por Trovão¹⁴ no município de Guarulhos – SP, em 2003, para verificar a potabilidade da água devido a um vazamento de combustível ocorrido na região, mostrou, através das análises físico-químicas de água (Tabela 1), que nos poços 3 e 4 a concentração de benzeno ultrapassou o limite estabelecido pela portaria GM/MS

nº 888/21, chegando a apresentar no poço 3 um valor aproximadamente três vezes maior, enquanto que no poço 4, o valor foi aproximadamente dez vezes maior que o permitido para o padrão de potabilidade da água, conforme a portaria.^{13,14} Verificou-se também, que na amostra de água do poço 4 as concentrações dos poluentes tolueno, etilbenzeno e xileno, foram maiores. Conforme os resultados da tabela 1, observou-se também que as concentrações de BTEX estão dentro dos padrões permitidos nas amostras de água dos poços 1 e 2. Os resultados das análises de água subterrâneas nos poços 1, 2, 3 e 4 estão representados na tabela 1.¹⁴

Tabela 1 – Análises de água subterrânea em Guarulhos – SP (2003)

Parâmetros	Poço 1 (µg/L)	Poço 2 (µg/L)	Poço 3 (µg/L)	Poço 4 (µg/L)	Portaria GM/MS nº 888/21
Benzeno	< 1,00	< 1,00	16,96	52,84	máx de 5 µg/L
Tolueno	< 1,00	< 1,00	< 1,00	292,38	máx de 30µg/L
Etilbenzeno	< 1,00	< 1,00	< 1,00	50,24	máx de 300 µg/L
Xilenos	< 1,00	< 1,00	< 1,00	138,79	máx de 500 µg/L

Fonte: Adaptada de Trovão¹⁴

Resultados da análise de água subterrânea em três poços de dois postos de combustível localizados na cidade de Salvador – BA, descritos por Gusmão¹⁵, mostraram que os BTEX e outros derivados orgânicos do petróleo também foram detectados na água subterrânea (Tabela 2). Apesar dos valores encontrados para os poluentes BTEX na água do poço 3 não ultrapassarem o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/21¹³, eles representam risco de contaminação. Os demais poluentes derivados do petróleo encontrados na água dos poços 1, 2 e 3 não apresentaram padrões legislados pela Portaria GM/MS nº 888/21, por isso, suas concentrações encontradas na água não foram discutidas de acordo com o padrão de potabilidade da água.^{13,15} Através da tabela 2 é possível verificar os resultados das análises de água subterrânea em diferentes poços presentes nos postos de combustíveis de Salvador - BA.

Tabela 2- Resultados das amostras de águas subterrâneas em dois postos da cidade de Salvador – BA

Parâmetros	Poço 1 (µg/L)	Poço 2 (µg/L)	Poço 3 (µg/L)	Portaria GM/MS nº 888/21
Benzeno	ND	ND	ND	máx de 5 µg/L
Tolueno	ND	ND	ND	máx de 30 µg/L
Etilbenzeno	ND	ND	2,58	máx de 300 µg/L
Xilenos	ND	ND	1,75	máx de 500 µg/L
Naftaleno	0,027	0,75	17,632	X
Acenaftileno	0,012	0,259	0,015	X
Acenafteno	0,057	0,114	0,013	X
Fenantreno	ND	3,272	0,079	X

Nota: ND= Não detectado; X= valores não lesquilados pela Portaria GM/MS nº 888/21

Fonte: Adaptado de Gusmão¹⁵

Um levantamento feito pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) na região de Sorocaba, em 2007, mostrou um total de 84 áreas contaminadas pelos poços de combustível. Em outro levantamento, realizado em 2009, também pela CETESB, mostrou que esse número cresceu para 98 áreas. Dentre essas áreas, 67 foram contaminadas devido a formas erradas na armazenagem de combustíveis dos postos. O levantamento mostrou a existência de áreas contaminadas pelos postos de combustíveis em 25 cidades da região de Sorocaba: Alumínio, Angatuba, Araçariguama, Araçoiaba da Serra, Boituva, Campinha do Monte Alegre, Cerquilha, Cesário Lange, Ibiúna, Iperó, Itapetininga, Itu, Laranjal Paulista, Mairinque, Piedade, Porto Feliz, Salto, Salto de Pirapora, São Miguel Arcanjo, São Roque, Sarapuí, Sorocaba, Tatuí, Tietê e Votorantim.¹⁶

O crescente aumento no número de áreas contaminadas é uma realidade do estado de São Paulo e de outros estados brasileiros. A pesquisa da CETESB mostrou que as causas foram originadas de problemas relacionados do armazenamento pelos postos de combustíveis.¹⁶

A Região do Polo Têxtil (RPT) de São Paulo possui 23 áreas com risco confirmado de contaminação do solo ou da água subterrânea, registradas em uma

relação divulgada pela CETESB.

LEGISLAÇÃO

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução nº 420/2009, determinou critérios e valores orientadores de referência de qualidade, de preservação e de investigação do solo, estabelecendo diretrizes para o gerenciamento ambiental em áreas contaminadas por substâncias tóxicas em decorrência de atividades antrópicas. Caso seja realmente comprovado um vazamento de combustível no solo, a fase de gerenciamento da área contaminada deve ser iniciada, considerando que a existência de áreas contaminadas pode configurar sério risco à saúde pública e ao meio ambiente.¹⁸

Vale ressaltar ainda, que de acordo com o art. 54 da Lei Federal 9605/98, é considerado crime ambiental causar poluição de qualquer natureza que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora.¹⁹

Agrotóxico (pesticidas)

Os agrotóxicos, também denominados pesticidas, defensivos agrícolas ou agroquímicos, são quaisquer compostos destinados à agricultura e que têm como ação a prevenção ou redução dos efeitos causados por pragas, doenças, ervas daninhas, entre outros. Essas substâncias são compostos orgânicos sintéticos com baixo peso molecular, geralmente com baixa solubilidade em água e alta atividade biológica. O termo inclui todos os inseticidas, fungicidas, herbicidas, fumigantes e outros compostos orgânicos ou substâncias utilizadas como reguladores de crescimento, desfolhantes ou disseccantes.²⁰

O uso indiscriminado de produtos agrotóxicos na produção agrícola é no Brasil, a segunda maior causa de contaminação dos recursos hídricos, sendo o responsável pela poluição de águas subterrâneas. Destaca-se que atualmente o Brasil é o maior consumidor de produtos agrotóxicos no mundo, tendo como objetivo a produção de alimentos em larga escala. Recentemente foram criadas leis privando os agricultores brasileiros do uso de alguns pesticidas. No entanto, enquanto os países europeus já possuíam preocupações ecológicas, o Brasil criava políticas públicas que incentivava a agricultura, autorizando o uso de produtos já proibidos no resto do mundo.²¹

Agrotóxicos mais utilizados no Brasil

Os ingredientes ativos que lideraram o ranking dos mais utilizados em território brasileiro no ano de 2017 foram: glifosato (173.150,75 toneladas), 2,4-D ou ácido diclorofenoxiacético (57.389,35 toneladas), mancozebe (30.815,09 toneladas), acefato (27.057,66 toneladas), atrazina (24.730,90 toneladas), paraquate (11.756,39 toneladas) e imidacloprido (9.364,57 toneladas).²²

Dentre esses, o acefato não possui um limite estabelecido pela norma vigente brasileira, sendo assim a contaminação da água potável com essa substância é livre aos agricultores e agroexportadores; a atrazina possui um padrão máximo de até 2,0 µg/L; enquanto os padrões máximos estabelecidos para os agrotóxicos 2,4-D, mancozebe e glifosato são, respectivamente, 30 µg/L, 8 µg/L e 500 µg/L.¹³

O glifosato é o agrotóxico mais popular do Brasil, representando cerca de 62% do total de herbicidas utilizados no país. Em 2016, as vendas desse produto químico, em milhares de toneladas, foi maior que a soma dos sete outros pesticidas mais comercializados em território nacional.²³

O consumo de pesticidas se distingue em várias regiões do Brasil, onde se misturam atividades agrícolas intensivas e tradicionais. O uso de agrotóxicos tem sido maior nas regiões Sudeste (cerca de 38%), Sul (31%) e Centro-Oeste (23%). Na região Norte, o consumo desses produtos é muito pequeno (pouco mais de 1%) e na região Nordeste (aproximadamente 6%) uma boa parte concentra-se, principalmente, nas áreas de agricultura irrigada. Os estados que mais sobressaem na utilização de agrotóxicos são: São Paulo (25%), Paraná (16%), Minas Gerais (12%), Rio Grande do Sul (12%), Mato Grosso (9%), Goiás (8%) e Mato Grosso do Sul (5%).²⁴

Contaminação por agrotóxicos (pesticidas)

A permanência de um agrotóxico no ambiente depende da eficiência dos processos físicos e biológicos (evaporação, absorção/degradação por organismos, lixiviação, erosão), características do ambiente (temperatura, conteúdo de matéria orgânica, acidez, umidade) e característica do composto químico (como a taxa de degradação do agrotóxico).²⁵

Os agrotóxicos podem contaminar espécies que não eram alvo do processo de controle, inclusive a espécie humana e compartimentos abióticos do ecossistema, como

a água, o ar e o solo.²⁵

Os pesticidas se dissipam pelos rios, encharcam o solo e alcançam as águas subterrâneas. Rios e lagos podem entrar em contato com o produto mediante o lançamento intencional e por escoamento superficial a partir de locais onde o uso de agrotóxico é realizado.²⁶

Ao contaminar os corpos de água, os agrotóxicos alteram a biota, selecionando espécies mais resistentes, acumulando compostos químicos nocivos por toda a cadeia alimentar (biomagnificação). É uma contaminação que persiste por anos, mesmo quando a fonte de contaminação por agrotóxico tenha sido eliminada.²⁵

Regiões contaminadas por agrotóxicos (pesticidas)

Vários estudos são realizados em diversos locais e se baseiam no método de EPA e no índice de GUS para constatar se há contaminação por agrotóxicos na água subterrânea. O método de EPA é realizado de acordo com os critérios de: solubilidade dos pesticidas em água (S) $> 30 \text{ mg.L}^{-1}$; coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo (K_{oc}) $< 300 - 500 \text{ mL.g}^{-1}$; constante da Lei de Henry (KH) $< 10^{-2} \text{ Pa.m}^3.\text{mol}^{-1}$; especiação (Esp): carregado negativamente a pH normal do ambiente (5 a 8); meia-vida no solo > 14 a 21 dias; meia-vida na água > 175 dias. Os agrotóxicos que se encaixarem nesses critérios são considerados de alto potencial contaminante. O índice de vulnerabilidade de águas subterrâneas (GUS) é efetuado diante dos valores de meia-vida do composto no solo ($DT50_{\text{solo}}$) e do coeficiente de adsorção à matéria orgânica do solo (K_{oc}), não se levando em consideração outras propriedades, como solubilidade em água. Sua classificação se dá pela lixiviação, sendo subdivididas em: GUS $< 1,8$: não sofre lixiviação $1,8 < \text{GUS} < 2,8$: faixa de transição GUS $> 2,8$: provável lixiviação.²⁷

Resultados de análise de água subterrânea em agricultura irrigada na região do Baixo Jaguaribe – CE, descrito por Milhome et al²⁷ (Tabela 3) mostraram que 2,4 D, glifosato, mesotriona e atrazina foram encontrados em potencial contaminante.²⁷

Através da tabela 3 foi possível observar as análises das águas subterrâneas levando em consideração os parâmetros definidos no método EPA e no índice de GUS. De acordo com o método de EPA, os 4 pesticidas estudados foram encontrados em potencial contaminante nas águas, isto é, apresentaram um grande risco de contaminação. Já no índice de GUS, o agrotóxico atrazina foi encontrado em provável lixiviação, o agrotóxico 2,4 D na faixa de transição e os agrotóxicos glifosato e mesotriona

em lixiviação nula. Diante dos resultados encontrados verifica-se que uma investigação adicional mais detalhada é necessária para elucidar de forma mais completa a contaminação da água subterrânea.

Tabela 3 – Análise de água subterrânea na região do Baixo Jaguaribe - CE

Princípio Ativo	Análise de EPA	Análise de GUS
Atrazina	CP	PL
2,4 D	CP	FT
Glifosato	CP	LN
Mesotriona	CP	LN

Nota: **CP:** contaminante em potencial; **PL:** provável lixiviação; **FT:** faixa de transição; **LN:** lixiviação nula.

Fonte: Adaptado de Milhome et al²⁷

Resultados de análise em diferentes pontos de amostras de água subterrânea em estudo descrito por Ferracini et al ²⁸, na região de Petrolina – PE e Juazeiro – BA (Tabela 4), mostraram que os agrotóxicos dimetoato, diuron, metomil e triclorfon foram encontrados em potencial contaminante.²⁸

Através da tabela 4 foi possível observar as análises das águas subterrâneas levando em consideração somente o parâmetro definido no método de EPA. Diante da análise feita, pode-se observar que os quatro pesticidas estudados estão em potencial contaminante nas águas subterrâneas, apresentando, portanto, um grande risco de contaminação.²⁸

Tabela 4 – Resultado das amostras de água subterrânea na região de Petrolina – PE e Juazeiro – BA

Princípio ativo	EPA
Dimetoato	PC
Diuron	PC
Metomil	PC
Triclorfon	PC

Notas: PC: contaminante em potencial

Fonte: Adaptado de Ferracini et al ²⁸

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado mostrou que a contaminação das águas subterrâneas por combustíveis e agrotóxicos é uma realidade no Brasil, demonstrando que existe uma elevada concentração de ocorrências de contaminação nos grandes centros urbanos e áreas agrícolas, onde também se localizam importantes reservas hídricas.

É importante destacar que uma vez poluídas ou contaminadas, as águas subterrâneas demandam um elevado dispêndio de recursos financeiros e humanos para sua remediação, além de causar sérios riscos à saúde da população que necessita dessa fonte de água para consumo.

REFERÊNCIAS

- 1- Paludo D. Qualidade da água nos poços artesianos do município de Santa Clara do Sul [monografia]. Lajeado: Centro Universitário Univartes; 2010.
- 2- Silva LIL, Silva M, Capobianco JPR, Zica EL, Senra JB, Oliveira E. Águas subterrâneas: um reconhecimento a ser conhecido e protegido. Ministério do Meio Ambiente. In: I Congresso Aquífero Guarani; 2007; Brasília. Anais. Brasília; 2007. 1-40.
- 3- Hirata R, Suhogusoff A, Marcellini SS, Villar PC, Marcellini L. As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. São Paulo: Geociências USP; 2019.
- 4- Fagundes JPR, Andrade ALA. Poços Artesianos: uma reflexão na perspectiva da sustentabilidade. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro. 2015; [citado 2022 Mar 16]. Disponível em: <https://revistas.unipacto.com.br/busca?search=po%C3%A7os+artesianos>
- 5- Zermes CM, Secchi MI, Calderan TB, Bortoli J, Tonetto JF, Toldi M, Oliveira EC, Santana ERR. Análise da qualidade da água de poços artesianos do

- município de Imigrante, Vale do Taquari/RS. *Ciência e Natura*. 2015; 37(4): 651-63.
- 6- <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/informacoes-basicas/poluicao-das-aguas-subterraneas/#:~:text=As%20principais%20fontes%20potenciais%20de,atividades%20industriais%2C%20como%20ind%C3%BAstrias%20qu%C3%ADmicas%2C>
 - 7- Oliveir L.I., Loureiro C.O. Contaminação de aquíferos por combustíveis orgânicos em BH: avaliação preliminar. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 1998; São Paulo: ABAS; 1998. p. 1-10.
 - 8- Ismael L.L, Rocha E.M.R. Estimativa de contaminação de águas subterrâneas e superficiais por agrotóxicos em área sucroalcooleira, Santa Rita/PB, Brasil. *Temas Livres*.2019; 24(12): 4665-75.
 - 9- G1 Triângulo e Alto Paranaíba. Triângulo, Alto Paranaíba e Noroeste de MG têm 50 áreas contaminadas por substâncias químicas, segundo Feam. [site]. Uberlândia. G1; 17 de janeiro de 2022 [acesso em 3 de novembro de 2022]. Disponível em: <https://www.google.com/amp/s/g1.globo.com/google/amp/mg/triangulo-mineiro/noticia/2022/01/17/triangulo-alto-paranaiba-e-noroeste-de-mg-tem-50-areas-contaminadas-por-substancias-quimicas-segundo-feam.ghtml>
 - 10- Oliveira JR, Melo AF, Pinto JA, Souza AN. Controle de vazamentos em postos de combustíveis na região metropolitana de Belém e seus aspectos jurídicos. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2002; São Paulo. Anais. São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas; 2002. P 1-9
 - 11-Finati A.R., Caicedo N.O.L., Rodrigues M.T.P. Contaminações subterrâneas com combustíveis derivados de petróleo: Toxicidade e a Legislação Brasileira. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 2001; 6(2): 29-46.
 - 12-Corseuil H.X., Marins M.D.M. Contaminação de águas subterrâneas por derramamentos de gasolina: o problema é grave? *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. 1997; 22(2): 50-54.
 - 13- Brasil. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888/21, de 4 de maio de 2021. Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União, Brasília (DF)*; 2021 Maio 7; Seção 1:127.
 - 14- Trovão RS. Análise ambiental de solos e águas subterrâneas contaminadas com gasolina: estudo de caso no município de Guarulhos – SP [monografia]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2006.
 - 15- Gusmão EC. Avaliação da contaminação por hidrocarbonetos com análise de risco à saúde humana, em postos de combustíveis na região metropolitana de Salvador – RMS [tese]. Salvador: Universidade Federal da Bahia; 2016.

- 16- Porto MF, Rocha D. La experiencia del mapa de conflictos relacionados con la injusticia ambiental y la salud en Brasil. *Revista de comunicación y ciudadanía*. 2018; 7: 193-221.
- 17- Leal AC. Cetesb aponta 23 áreas com água subterrânea ou solo contaminado na região [site]. *Liberal: Grupo liberal de comunicação*; 19 de set de 2022 [acesso em 04 de nov de 2022]. Disponível em: <https://liberal.com.br/cidades/americana/cetesb-aponta-23-areas-com-agua-subterranea-ou-solo-contaminado-1834621/>
- 18- Brasil. Ministério do meio ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dez de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientados de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Conselho nacional do meio ambiente, Brasília (DF); 28 de dez de 2009 [citado 04 de nov 2022]. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-ac.s.pdf>
- 19- Brasil. Casa civil. Lei nº 9.605, de 12 de fev de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Presidência da república, Brasília (DF); 12 de fev de 1998 [citado 04 de nov de 2022]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm
- 20- Soares DF, Faria AM, Rosa AH. Análise de risco de contaminação de águas subterrâneas por resíduos de agrotóxicos o município de Campo Novo do Parecis (MT), Brasil. *Eng Sant Ambiental*. 2017; 22(2): 277-84.
- 21- Barbora DC, Paiva GS. O uso de agrotóxicos e a contaminação dos recursos hídricos: custo benefício econômico e social. [monografia]. Vale do Juruena: Faculdade do Vale do Juruena – AJES; 2016.
- 22-Oshiro TL. Avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por agrotóxico na bacia hidrográfica do rio Tibagi [dissertação]. Londrina: Universidade tecnológica federal do Paraná; 2020.
- 23- Carrança T [site]. Agrotóxico mais usado do Brasil está associado a 503 mortes infantis por ano, revela estudo [acesso em 4 de nov de 2022]. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-57209799#:~:text=V%C3%ADdeos-,Agrot%C3%B3xico%20mais%20usado%20do%20Brasil%20est%C3%A1%20associado%20a,infantis%20por%20ano%2C%20revela%20estudo&text=O%20glifosato%20%C3%A9%20o%20agrot%C3%B3xico%20mais%20popular%20do%20Brasil>
- 24- Spadotto CA, Gomes MAF [site]. Agrotóxicos no Brasil [acesso em 4 de nov de 2022]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/dinamica/agrotoxicos-no-brasil>

- 25- Preto CAG, Junior NW [site]. Intoxicação aguda por agrotóxicos [acesso em 4 de nov de 2022]. Disponível em: <https://www.saude.pr.gov.br/Pagina/Intoxicacao-Aguda-por-Agrotoxicos>
- 26- Pacheco E, Akemi D [site]. Contaminação ambiental por agrotóxicos: efeitos “invisíveis” para o solo, água e ar [acesso em 04 de nov de 2022]. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/contaminacao-ambiental-por-agrotoxicos/>
- 27- Milhome MAL, Sousa DOB, Lima FAF, Nascimento RF. Avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas aplicados na agricultura do Baixo Jaguaribe, CE. Eng Sant Ambiental. 2009; 14(3): 1-10.
- 28- Ferracini VL, Pessoa MCYP, Silva AS, Spadotto CA. Análise de risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais da região de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). R. Ecotoxicol e Meio Ambiente. 2001; 11: 1-16.