UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE BRAGANÇA
INSTITUTO DE ESTUDOS COSTEIROS
FACULDADE DE CIÊNCIAS NATURAIS

RAERIDA DA SILVA DO CARMO

ESTUDO DA CONTAMINAÇÃO DA SUBSUPERFÍCIE POR HIDROCARBONETOS MONOAROMÁTICOS NOS PRINCIPAIS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DAS CIDADES DE BRAGANÇA, TRACUATEUA E AUGUSTO CORRÊA (PARÁ)

BRAGANÇA- PA
2024

RAERIDA DA SILVA DO CARMO

ESTUDO DA CONTAMINAÇÃO DA SUBSUPERFÍCIE POR HIDROCARBONETOS MONOAROMÁTICOS NOS PRINCIPAIS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DAS CIDADES DE BRAGANÇA, TRACUATEUA E AUGUSTO CORRÊA (PARÁ)

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de licenciando em Ciências Naturais, Faculdade de Ciências Naturais, Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará.

Orientadora: Prof. Dr. Pedro Andrés Chira Oliva

BRAGANÇA - PA

2024

RAERIDA DA SILVA DO CARMO

ESTUDO DA CONTAMINAÇÃO DA SUBSUPERFÍCIE POR HIDROCARBONETOS MONOAROMÁTICOS NOS PRINCIPAIS POSTOS DE COMBUSTÍVEIS DAS CIDADES DE BRAGANÇA, TRACUATEUA E AUGUSTO CORRÊA (PARÁ)

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de licenciando em Ciências Naturais, Faculdade de Ciências Naturais, Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará.

Data da aprovação: __25/06/ 24_

Conceito: _BOM__

BANCA EXAMINADORA:

_____

Prof. Dr. Pedro A. Chira Oliva - Orientador
Instituto de Estudos Costeiros, IECOS, *Campus* Bragança, UFPA

_____

Dr. Rosivaldo de Alcântara Mendes
Instituto Evandro Chagas (IEC)/Belém

_____

MSc. Cássia Christina da Silva Rocha
Instituto Evandro Chagas (IEC)/Belém

Dedico primeiramente a Deus por ser meu apoio em momentos difíceis. Também agradeço aos meus pais pelo apoio incondicional em todos os momentos difíceis da minha trajetória acadêmica. Meu muito obrigada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus que permitiu que este momento fosse vivido por mim, trazendo alegria aos meus pais e a todos que contribuíram para a realização deste trabalho,

Agradeço ao meu Orientador Prof. Dr. Pedro Andrés Chira Oliva pela orientação, confiança e atenção dispensada durante a realização deste trabalho, apoio, paciência e incentivo nas horas difíceis;

Agradeço à PROPESP/UFPA pela concessão da bolsa de Iniciação Científica (PIBIC/UFPA-Interior) para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Dr. Rosivaldo Mendes e equipe do Instituto Evandro Chagas (IEC)/Belém pelo importante ajuda e colaboração nas análises por BTEX das amostras de água subterrânea coletadas ao longo dos anos nas cidades paraenses de Bragança, Tracuateua e Augusto Corrêa.

Agradeço aos membros da banca, Dr. Rosivaldo Mendes e a MSc. Cássia Christina da Silva Rocha (Instituto Evandro Chagas/Ministério da Saúde (IEC/SVS/MS) /Belém) pelo aceite de fazer parte da banca e pelas importantes contribuições ao presente trabalho de conclusão de curso.

Aos colegas do curso de graduação, pela amizade e convivência; em especial as meninas, Jheisa Azevedo, Pamela Vitória e Regiane Santos, pelo apoio e suporte que me deram durante todo o curso.

À minha família, que me incentivou e acreditou na minha capacidade para concluir este trabalho;

A todos que diretamente e indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

“Não há saber mais ou saber menos: há saberes diferentes”
(Paulo Freire).

RESUMO

Os hidrocarbonetos monoaromáticos BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno) são produtos derivados do petróleo que podem se dissolver em água, altamente voláteis e possuem alta periculosidade para a saúde humana e meio ambiente. A detecção imediata de vazamentos é essencial para a remediação da área contaminada, uma vez que a exposição a estes compostos pode causar problemas irreversíveis ao meio ambiente, visto que, são altamente impactantes para o solo, ar e água e agridem diversas formas de vida. Os vazamentos provenientes dos postos de abastecimento de combustíveis contaminam a água subterrânea, ocasionando uma série de problemas ambientais. Antes as detecções de pequenas concentrações de BTEX reportadas em pesquisas anteriores na cidade de Bragança, no presente estudo foi analisado o estado de contaminação por BTEX nesta cidade como também nas cidades vizinhas de Tracuateua e Augusto Corrêa, aplicando a combinação das técnicas analíticas Cromatografia Gasosa (CG) e Espectrometria de Massas (EM). As amostras de água foram coletadas nos poços artesianos próximos e dentro dos principais postos de abastecimentos de combustíveis destas cidades, durante os períodos sazonais chuvoso e seco no triênio 2021-2023. Em cada campanha (05 em total) foram coletadas 29 amostras de água subterrânea (total de 145 amostras), sendo 14 amostras de água coletadas na cidade de Bragança, 03 amostras na cidade de Tracuateua e 12 na cidade de Augusto Corrêa. Foram detectadas 17 amostras contaminadas (11,72 %) nas cidades de Bragança, Tracuateua e Augusto Corrêa com tolueno, etilbenzeno e xilenos. Tolueno e xilenos foram os contaminantes mais predominantes. Os valores dos contaminantes mensurados estavam dentro dos valores máximos permitidos pela legislação vigente. O restante das amostras (88,28%) apresentou valores abaixo do Limite de Quantificação das técnicas analíticas combinada CG-EM. Estes resultados vêm agregar informações importantes para a saúde pública, tendo como intuito alertar os órgãos competentes, para iniciar um processo de conscientização ambiental com medidas de prevenção e cuidado antes a existência de uma possível contaminação da subsuperfície aonde o lençol freático esteja sendo comprometido nos locais das três cidades estudadas, colocando em risco a potabilidade da água para o consumo humano e a saúde da população.

Palavras-chave: BTEX, Cromatografia Gasosa, Espectrometria de Massas, água subterrânea, contaminação.

ABSTRACT

BTEX monoaromatic hydrocarbons (Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene) are petroleum products, soluble in water, highly volatile and highly dangerous for human health and the environment. The immediate detection of leaks is essential for the remediation of the contaminated area, since exposure to these compounds can cause irreversible problems for the environment, since they have a high impact on the soil, air and water and, consequently, attack various forms of life. . Leaks from gas stations contaminate groundwater, causing a series of environmental problems. Studies prove that human exposure to these compounds in high concentrations can cause a number of problems such as kidney failure, nervous system degradation, cancer and death. Before the detections of small concentrations of BTEX reported in previous research in the city of Bragança, in the present study the state of contamination by BTEX in this city as well as in the neighboring cities of Tracuateua and Augusto Corrêa was analyzed, applying the combination of analytical techniques Gas Chromatography (GC) and Mass Spectrometry (MS). Water samples were collected from nearby artesian wells and inside the main gas stations in these cities, during the rainy and dry seasonal periods in the 2021-2023 triennium. In each campaign (05 in total) 29 groundwater samples were collected (total of 145 samples), with 14 water samples collected in the city of Bragança, 03 samples in the city of Tracuateua and 12 in the city of Augusto Corrêa. 15 contaminated samples (11.72%) were detected in the cities of Bragança and Augusto Corrêa with toluene, ethylbenzene and xylene. Toluene and xylene were the most predominant contaminants. The values of the measured contaminants were within the maximum values allowed by current legislation. The remainder of the samples (88.28%) presented values below the Limit of Quantification of the combined GC-MS analytical techniques. These results add important information for public health, with the aim of alerting the competent bodies to start a process of environmental awareness with prevention and care measures before the existence of a possible contamination of the subsurface where the water table is being compromised in the places of the three cities studied, putting the potability of water for human consumption and the health of the population at risk.

Keywords: BTEX, Gas Chromatography, Mass Spectrometry, groundwater, contamination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Estrutura química do Benzeno 19
Figura 2 Estrutura química do Tolueno 20
Figura 3 Estrutura química do Etilbenzeno 20
Figura 4 Estrutura química do Xileno 21
Figura 5 Cromatograma da amostra A06 do posto P14, mostrando as concentrações de BTEX (Augusto Corrêa, novembro de 2022).....22
Figura 6 Esquema de funcionamento do cromatógrafo gasoso.....22
Figura 7 Cromatógrafo gasoso utilizado neste estudo.....23
Figura 8 Posto de abastecimento com o tanque de armazenamento.....25
Figura 9 Mapa de localização das cidades de Bragança, Tracuateua e Augusto Corrêa (Pará), onde foram coletadas as amostras de água 27
Figura 10. Frasco de vidro âmbar usado para a coleta de água subterrânea.....30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Augusto Corrêa (outubro, 2021).....	31
Tabela 2	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Bragança (outubro, 2021).....	32
Tabela 3	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Tracuateua (outubro, 2021).....	32
Tabela 4	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Augusto Corrêa (janeiro, 2022).....	33
Tabela 5	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Bragança (janeiro, 2022).....	34
Tabela 6	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Tracuateua (janeiro, 2022).....	34
Tabela 7	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Augusto Corrêa (julho,2022)	35
Tabela 8	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Bragança (julho, 2022).....	35
Tabela 9	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Tracuateua (julho, 2022).....	36
Tabela 10	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Augusto Corrêa (novembro, 2022) ...….....	36
Tabela 11	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Bragança (novembro,2022)	37
Tabela 12	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Tracuateua (novembro, 2022).....	38
Tabela 13	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Augusto Corrêa (abril, 2023)..	38
Tabela 14	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Bragança (abril,2023).....	39
Tabela 15	Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Tracuateua (abril,2023).....	40

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS 5
RESUMO..... 7
ABSTRACT 8
1.INTRODUÇÃO..... 12
2.JUSTIFICATIVA 166
3. OBJETIVOS..... 18
3.1 Objetivo Geral..... 18
3.2. Objetivos Específicos..... 18
4. ASPECTOS TEÓRICOS 19
4.1. Hidrocarbonetos monoaromáticos 19
4.2. Benzeno 19
4.3. Tolueno 19
4.4. Etilbenzeno..... 20
4.5. Xileno..... 20
4.6. Cromatografia gasosa (CG)..... 21
4.7. Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massa (CG/EM)..... 23
4.8. Postos de abastecimentos 24
4.9. Água subterrânea 25
4.10. Contaminação..... 25
5. MATERIAIS E MÉTODOS 27
5.1 Área de estudo..... 27
5.2. Análise e determinação de BTEX..... 28
5.3. Coleta de amostras de água e determinação de BTEX 29
7. RESULTADOSE DISCUSSÃO..... 31
8. CONCLUSÃO..... 43
REFERÊNCIAS 44

1. INTRODUÇÃO

Os compostos orgânicos voláteis (COVs) são precursores do ozônio, são reativos, tóxicos e prejudiciais à saúde humana, dentre os vários grupos destaca-se o subgrupo dos compostos monoaromáticos compostos por benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (Seinfeld; Pandis, 2006 apud Carvalho, 2020).

Algumas das atividades antrópicas apresentam uma interação negativa com o meio ambiente, introduzindo substâncias que contribuem para sua alteração. Uma das preocupações atuais da humanidade é a contaminação do subsolo e dos recursos hídricos, como por exemplo, por vazamentos em postos de combustíveis contendo derivados de petróleo, podendo trazer problemas graves, ambientais e de saúde populacionais. O vazamento desses combustíveis na subsuperfície ocorre por instalação e o manuseio inadequado dos tanques, transferência do produto para os tanques, envelhecimento e corrosão nesses depósitos e tubulações, defeitos na fabricação dos tanques, entre outros (YU et al., 2022; BIAN et al., 2022; POPITANU et al., 2021; BAGHANI et al., 2019; LINS et al., 2019; HADEI et al., 2018; FAYEMIWO et al., 2017; RAO et al., 2017; IARC, 2014; ALMEIDA, 2007; MINDRISZ, 2006; TIBURTIUS et al.,2005).

Almeida (2007) evidenciou a dificuldade na detecção previa desses vazamentos, principalmente pela dificuldade de observação direta, uma vez que as zonas contaminadas podem se formar no subsolo, sem possibilitar a identificação de vestígios contundentes em superfície.

Para Custance et al. (1992 apud AZEVEDO, 2017) em um acidente com vazamentos de combustíveis, a preocupação com a contaminação dos aquíferos subterrâneos é iminente, tendo em vista que são usados como fonte de abastecimento para os seres humanos.

Umas das principais substâncias contaminantes que são expostas ao ambiente devido a vazamentos de combustíveis são os hidrocarbonetos monoaromáticos denominados BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno) (Ding e Cuppks, 2015). De acordo com Nadim et al. (2000), essas substâncias são extremamente tóxicas e sua liberação através do derramamento de combustíveis nos recursos hídricos é o principal problema que vem preocupando os órgãos ambientais de todo mundo, devido a sua rápida dissolução na água subterrânea, utilizada como fonte de abastecimento para o consumo humano.

Os hidrocarbonetos monoaromáticos BTEX estão presentes em significativas concentrações na gasolina e outros derivados de petróleo e constituem uma parte significativa de sua fração solúvel (e.g. Rodrigo-Ilarri et al., 2023: Yu et al., 2022: Miri et al,2021). Possuem uma razoável solubilidade em água, são os contaminantes que primeiro atingirão o lençol freático. A porcentagem em peso de BTEX na gasolina compreende: benzeno (11%), tolueno

(26%), etilbenzeno (11%), meta-xileno (31%), orto-xileno (12%) e para-xileno (9%) (Mitra e Roy, 2011). O benzeno é reconhecidamente o mais toxico dentre os compostos BTEX, mesmo consumido em baixa concentração por um curto período, tendo em vista que, este composto é classificado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como potente agente carcinogênico (CORSEUIL et al., 1997; HELENO et al., 2010; MINDRISZ, 2006).

No Brasil, o Ministério da Saúde (MS), através da Portaria de Consolidação nº. 5/2021 apresenta os valores máximos permitidos (VMP) para concentração de Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos em águas destinadas ao consumo humano, que são 5, 30, 300 e 500 µg/L, respectivamente (BRASIL, 2021).

O Ministério da Saúde e do Meio Ambiente, por meio da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) monitoram e fiscalizam os recursos naturais e humanos, visando a proteção contra poluentes em grandes concentrações, sejam naturais ou oriundos de resíduos tóxicos. Dados do Anuário Estatístico de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2023), indicam que um total de 43.266 postos revendedores operavam no país no final de 2022. Aproximadamente 8,3% desses postos estão localizados na região Norte do Brasil, sendo que 1442 postos (3,33% do total nacional) operam no estado do Pará. Além desses dados oficiais, também pode haver uma série de estabelecimentos ilegais que não constam nas estatísticas da ANP e que podem estar contaminando corpos d'água e solo e causando graves impactos ao meio ambiente (e.g. Lins e de Souza, 2019; ANP, 2018).

A necessidade de se analisar os compostos de BTEX em baixas concentrações, leva os mesmos a serem isolados da matriz ambiental e analisados pelas técnicas analíticas Cromatografia a Gás (CG) e combinada com a técnica de Detecção por Ionização em Chama (FID) (Dron et al.,2002; Almeida e Boas, 2004; Arambarri et al., 2004; Bahramifar et al., 2004; Kubinec et al., 2004) ou Espectrometria de Massas (EM) (Lee et al ., 2007; Pavón et al., 2007; Jochmann et al., 2006; Nakamura e Daishima 2005; Tanabe et al., 2005; Rosell et al., 2003; Zwank et al., 2002), porém, os métodos analíticos mais sensíveis recorrem a processos de pré-concentração.

De acordo com Pavón et al. (2007), a Cromatografia Gasosa (CG) é uma técnica muito aplicada para quantificar misturas de compostos orgânicos. A CG tem sido amplamente utilizada na indústria de petróleo, o que resultou no desenvolvimento de estratégias com excelente resolução de pico e software para identificação automática de hidrocarbonetos (Côcco et al. 2005).

Luz (2010) e Lopes (2011) descrevem a Cromatografia Gasosa (CG) ou Cromatografia

Gás-Líquido (CGL) como um tipo comum de cromatografia, método físico-químico ou técnica analítica usada em química orgânica para a separação de misturas de gases e vapores em componentes específicos. Desta forma, os componentes a serem separados são difundidos em duas fases: a fase estacionária (líquida ou sólida) e a fase móvel (gasosa). Este método é aplicável na separação de misturas cujos constituintes sejam voláteis ("evaporáveis") e exibem pontos de ebulição inferiores a 300 ºC.

O procedimento da técnica CG consiste na introdução da amostra, através de um sistema de injeção (onde amostras líquidas são vaporizadas). Em seguida, um gás inerte (geralmente hélio (mais comum), hidrogênio, nitrogênio ou argônio), "arrasta" a amostra pela coluna cromatográfica (Skoog et al., 2006). A fase estacionária, presente na coluna é responsável pela separação dos compostos, fazendo com que cada uma saia da coluna, a um tempo diferente (tempo de retenção). Finalmente, um detector é responsável pela identificação dos sinais eletrônicos produzidos pelo sistema de GC e um software específico é utilizado para transformar estes sinais em picos cromatográficos (A3 Analítica, 2019).

Luz (2010) se refere a Cromatografia como uma técnica bastante utilizada devido a qualidade de seu desempenho, haja visto que a detecção seletiva reduz o risco da falsa identificação de compostos, simplificando a otimização da separação cromatográfica, possibilitando que os compostos de interesses possam ser discriminados de interferentes.

Mindrisz (2006) ressalta que o tipo e o comprimento da coluna cromatográfica escolhida devem ser em função das moléculas a serem separadas. Cada uma das substâncias dissolvidas movimenta-se ao longo da coluna e percorrem para o detector que, após a amplificação do sinal, apresenta um gráfico (cromatograma) de tempo contra a composição de um pico identificando o respectivo componente e a área desse pico determina a concentração do componente na dada mistura.

Os principais detectores utilizados em Cromatografia de Fase Gasosa, são: Ionização por Chama (FID), Condutibilidade Térmica (TCD), Captura de Elétrons (ECD), Espectrometria de Massas (EM), Fotoionização (PID), Fotometria de Chama (FPD), Nitrogênio-Fósforo (NPD), Emissão Atômica (AED), etc (A3 Analítica, 2019, Skoog et al., 2006).

Muitas técnicas de extração têm sido empregadas para aumentar o limite de detecção de BTEX em água e dentre elas destacam-se a utilização de Headspace estático e dinâmico, (Lacorte et al., 2002; Menendez et al., 2000; Pavón et al., 2007; Serrano e Gallego, 2004) de Purge and Trap (Bezerra, 2011; Lacorte et al., 2002; Bianchi et al., 2002; Dórea et al., 2002; Kubinec et al., 2004; Rego et al., 2007; Rosell et al., 2003) e de micro extração em fase sólida

com imersão direta da fibra na amostra (Popp e Paschke, 1997), ou com os analitos extraídos na fase Headspace (Menendez et al., 2000).

O CG/EM é um método rápido que fornece informações valiosas sobre a análise de produtos naturais usado para analisar misturas orgânicas e bioquímicas complexas, pesticidas e compostos orgânicos voláteis e semivoláteis no meio ambiente (Bustillos, 2020).

De acordo com Chiaradia et al. (2008) a vinculação de um Cromatógrafo com o detector dos analitos (Espectrômetro de massas) agrega as vantagens da Cromatografia (alta seletividade e eficiência de separação) com os benefícios da Espectrometria de massas (obtenção de informação estrutural, massa molar e aumento adicional da seletividade). Ainda segundo Chiaradia et al. (2008) a CG/EM é aplicável a compostos voláteis e termicamente estáveis nas temperaturas relativamente elevadas empregadas durante o processo de separação Cromatográfica.

De acordo com Maurer (1992) o Espectrômetro de Massas pode ser acoplado com outros equipamentos para aumentar a precisão dos resultados. A EM é uma das técnicas mais sensíveis para detectar substâncias presentes em uma amostra. A EM discrimina os analitos por meio de sua razão massa/carga (m/z), mas tem a contribuição no seu espectro de fracionamentos moleculares além das contribuições isotópicas, facilitando a identificação do analito por meio do espectro de massas (Bustillos, 2020; Pitt, 2009).

Heleno et al. (2010) validaram três métodos (extração por Headspace e micro extração em fase solida do Headspace seguidas de Cromatografia a Gás com Detecção por Ionização em Chama (CG/DIC) e Espectrometria de Massas (CG/EM) para análise de BTEX em amostras ambientais de águas superficiais e de abastecimento coletadas em Ouro Preto, MG.

No presente estudo foi monitorado a presença dos contaminantes BTEX em amostras de águas de poços artesianos coletadas no interior dos postos de abastecimento de combustíveis ou arredores nas cidades de Bragança, Tracuateua e Augusto Corrêa (Nordeste do Pará).

2. JUSTIFICATIVA

De acordo com o estudo preliminar realizado por Brito (2013) na cidade de Bragança (Pará) foram encontrado indícios de contaminação nas amostras de agua subterrânea coletadas nos postos e próximos aos mesmos e diante deste estudo houve a preocupação em realizar um monitoramento destes postos para saber se houve avanço desta contaminação ou estagnação, e se isso está influenciando na qualidade de água destinadas ao consumo da população, tendo em vista que, estes postos estão localizados próximos a residência, e a estabelecimentos ligados ao ramo alimentício e até mesmo ao lado de uma unidade de distribuição de agua da COSANPA(Companhia de Saneamento do Pará).

Os postos da cidade de Bragança (Pará), um dos alvos deste estudo, tem mais de 30 anos de funcionamento, o que gera um fator-problema (exemplo, risco de explosões, incêndios e contaminação das águas subterrâneas), pois os tanques de armazenamento subterrâneos possuem uma vida útil média de 25 anos (Corseuil Marins, 1997). No caso da cidade de Tracuateua segundo as investigações os postos de combustíveis pesquisados têm uma existência entre 9 e 23 anos.

Na cidade de Augusto Corrêa (Pará, Brasil), os postos têm tanques com uma idade entre 13 e 17 anos, no entanto, os estudos na cidade são de suma importância, para a remediação de possíveis vazamentos provenientes de más instalações ou acidentes que possam acontecer.

Segundo Mota (1997), o monitoramento de áreas em riscos é importante e pode evitar uma poluição ambiental, que é resultado do lançamento ou liberação de matéria ou energia em um ambiente, em quantidade ou intensidade tais que o torne impróprio as formas de vida que ele normalmente abriga, ou prejudique os seus usos.

De acordo com Mindrisz (2006, p.1) “além das consequências desastrosas para o meio ambiente estes acidentes acontecem quase sempre em áreas urbanas, densamente povoadas”.

Nos tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis dos postos de abastecimento, a detecção de vazamentos torna-se muito difícil de ser verificada previamente, principalmente pela dificuldade de observação direta. Extensas zonas contaminadas que podem se formar no subsolo sem possibilitar a identificação de vestígios contundentes em superfície (ALMEIDA, 2007).

Segundo Gorayeb e Pereira (2014), na região norte do Pará existe uma ausência de medidas de controle ambiental dos postos de combustíveis situados à margem do rio Caeté. A falta de fiscalização pode afetar diretamente a saúde e bem-estar dos moradores que moram próximo a estes postos e usam poços artesianos para consumo de água, uma vez que os hidrocarbonetos são componentes dos combustíveis extremamente agressivos. A ingestão em

altas concentrações desses contaminantes levam o indivíduo a desenvolver diversas doenças, como câncer e posteriormente a morte.

O presente estudo contribuirá com informações importantes para a saúde pública das cidades amazônicas estudadas, permitindo alertar os órgãos competentes, visando garantir a qualidade da água destinada para o consumo humano, a fim de evitar problemas à saúde, tendo em vista que já existem relatos de alguns moradores que residem nas proximidades destes postos sob o cheiro de gasolina na água como problemas de coceiras no corpo etc.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a ocorrência de contaminação por hidrocarbonetos monoaromáticos do tipo BTEX na Subsuperfície de postos de abastecimento de combustíveis existentes nas cidades de Bragança, Tracuateua e Augusto Corrêa (Pará).

3.2 Objetivos Específicos

- Analisar amostras de água de poços artesianos em postos de abastecimento de combustíveis e residências próximas aos mesmos nas cidades contempladas neste estudo;
- Verificar o conteúdo de BTEX nas amostras de água dos poços artesianos coletados;
- Identificar os postos de abastecimento que estariam contaminando com BTEX as amostras de água analisada,
- Verificar se houve alterações dos conteúdos de BTEX quando comparados com os anos anteriores.

4. **ASPECTOS TEÓRICOS**

4.1 Hidrocarbonetos monoaromáticos

Os hidrocarbonetos monoaromáticos são uma classe de compostos orgânicos formados por um único anel aromático. Os hidrocarbonetos monoaromáticos denominados BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno) estão entre os principais contaminantes das águas (SILVA et al., 2009). A presença destes compostos está comumente associada a deposições atmosféricas, vazamentos de petróleo e derivados e efluentes industriais. Devido à sua alta toxicidade, representa um risco à saúde humana e animal (HELENO et al., 2010).

4.2 Benzeno

O benzeno é um composto orgânico volátil (Figura 1), altamente inflamável, possui odor sensível de ser identificado no ar. É pouco solúvel em água, solubilidade de 0,8 g/L, porém, e mais solúvel em solventes orgânicos. Apresenta ponto de ebulição de 80,1°C, sendo sua massa molar de 78,11 g.mol e sua densidade de 0,8765 g.cm³. No ambiente, o benzeno é encontrado no ar, na água e solo, sendo pela via respiratória que se dá a exposição humana, ou por absorção da pele, quando na forma liquida (Tavares, 2007).

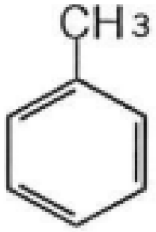
Figura 1. Estrutura química do Benzeno.

Fonte**:** Nardi (2002)

4.3. Tolueno

O tolueno é um composto orgânico volátil (Figura 2), altamente inflamável, possui odor característico, possível de ser identificado no ar. É pouco solúvel em água, solubilidade de 0,47 g.L, porém, é mais solúvel em solventes orgânicos. Apresenta ponto de ebulição de 110,6°C, sendo sua massa molar de 92,14 g.mol e sua densidade de 0,87 g.cm³. Assim como o benzeno, no ambiente, o tolueno é encontrado no ar, na água e solo, sendo pela via respiratória que se dá a exposição humana, ou por absorção da pele, quando na forma liquida (Tavares, 2007).

Figura 2. Estrutura química do Tolueno.

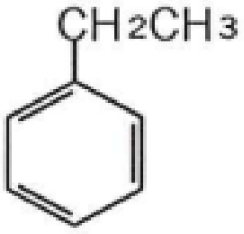


Fonte**:** Nardi (2002)

4.4. Etilbenzeno

Segundo Yamamoto et al (2016), os compostos orgânicos do etilbenzeno (Figura 3) são comumente usados como solventes industriais de plástico, e constituem os combustíveis automotores. A exposição prolongada e excessiva a esse composto pode desencadear uma série de problemas à saúde humana, como irritação (da pele e do trato respiratório), alterações do sistema nervoso central. A principal via de absorção do etilbenzeno é a via respiratória e a eliminação ocorre, principalmente, através dos metabólitos urinários.

Figura 3. Estrutura química do Etilbenzeno.

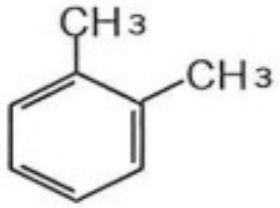


Fonte**:** Nardi (2002)

4.5 Xileno

De acordo com Silva et al. (2002) o xileno (Figura 4) é um líquido incolor, inflamável com três isômeros, contudo o meta-xileno é o isômero predominante na produção comercial. É encontrado no petróleo e é formado em incêndios florestais. É utilizado na produção de tintas, solventes e borracha. A exposição prolongada ao xileno provoca problemas neurológicos, gastrointestinais e irritação dos olhos.

Figura 4. Estrutura química do Xileno



Fonte**:** Nardi (2002)

4.6 Cromatografia Gasosa (CG)

Luz (2010) e Lopes (2011) descrevem a Cromatografia Gasosa (CG) ou Cromatografia Gás-Líquido (CGL) como um tipo comum de cromatografia, método físico-químico ou técnica analítica usada em química orgânica para a separação de misturas de gases e vapores em componentes específicos. Desta forma, os componentes a serem separados são difundidos em duas fases: a fase estacionária (líquida ou sólida) e a fase móvel (gasosa). Este método é aplicável na separação de misturas cujos constituintes sejam voláteis (“evaporáveis”) e exibem pontos de ebulição inferiores a 300 ºC.

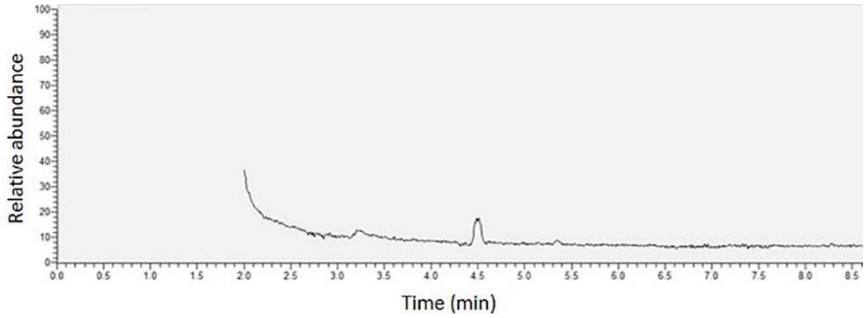
Durante a passagem da fase móvel sobre a estacionária, os componentes do analito são distribuídos e retidos na fase estacionária conforme a sua afinidade físico-química, sendo logo eluidos seletivamente em direção ao analisador, resultando em migrações diferenciais para cada analito, cuja unidade é o Tempo de Retenção – TR, medida em minutos (Bustillos, 2020).

O procedimento da técnica CG consiste na introdução da amostra, através de um sistema de injeção (onde amostras líquidas são vaporizadas). Em seguida, um gás inerte (geralmente hélio (mais comum), hidrogênio, nitrogênio ou argônio), “arrasta” a amostra pela coluna cromatográfica (Skoog et al., 2006). A fase estacionária, presente na coluna é responsável pela separação dos compostos, fazendo com que cada uma saia da coluna, a um tempo diferente (tempo de retenção). Finalmente, um detector é responsável pela identificação dos sinais eletrônicos produzidos pelo sistema de CG e um software específico é utilizado para transformar estes sinais em picos cromatográficos (A3 Analítica, 2019).

Luz (2010) se refere a Cromatografia como uma técnica bastante utilizada devido a qualidade de seu desempenho, haja visto que a detecção seletiva reduz o risco da falsa identificação de compostos, simplificando a otimização da separação cromatográfica, possibilitando que os compostos de interesses possam ser discriminados de interferentes.

Mindrisz (2006) ressalta que o tipo e o comprimento da coluna cromatográfica escolhida devem ser em função das moléculas a serem separadas. Cada uma das substâncias dissolvidas movimenta-se ao longo da coluna e percorrem para o detector que, após a amplificação do sinal, apresenta um gráfico (cromatograma, Figura 5) de tempo contra a composição de um pico identificando o respectivo componente e a área desse pico determina a concentração do componente na dada mistura.

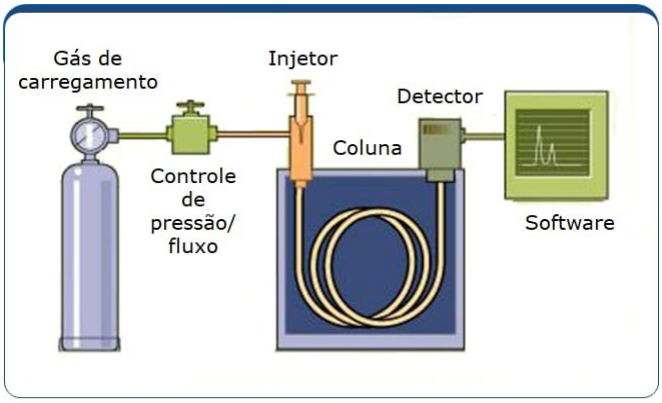
Figura 5. Cromatograma da amostra A06 do posto P14, mostrando as concentrações de BTEX (Augusto Corrêa, novembro de 2022). Fonte: Chira et al. (2024).



Os principais detectores utilizados em Cromatografia de Fase Gasosa, são: Ionização por Chama (FID), Condutibilidade Térmica (TCD), Captura de Elétrons (ECD), Espectrometria de Massas (EM), Fotoionização (PID), Fotometria de Chama (FPD), Nitrogênio-Fósforo (NPD), Emissão Atômica (AED), etc (A3 Analítica, 2019, Skoog et al., 2006).

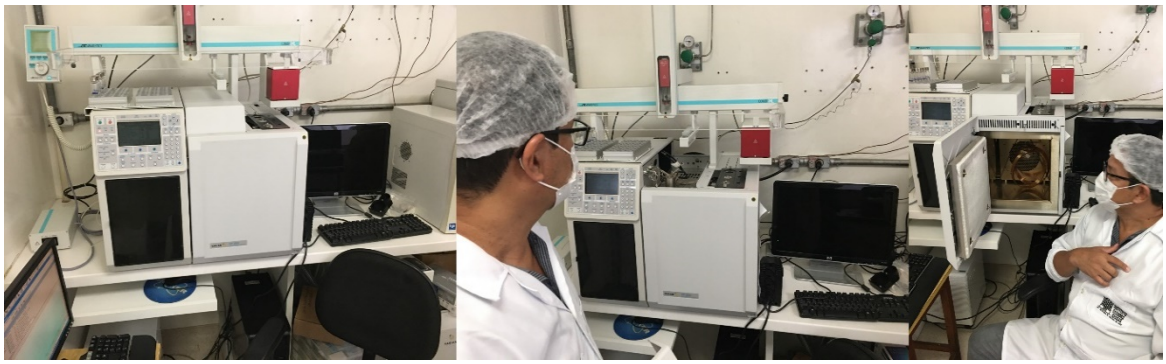
Por causa de sua simplicidade, sensibilidade e eficácia na separação dos componentes da amostra, a cromatografia gasosa (Figuras 6 e 7) é uma técnica amplamente utilizada para a análise quantitativa e qualitativa das misturas, para a purificação de compostos, monitoramento de processos industriais, análise de poluentes ambientais, óleos essenciais e produtos alimentares (A3 Analítica, 2019).

Figura 6. Esquema de funcionamento do cromatógrafo gasoso.



Fonte: DCTECH (2018)

Figura 7. Cromatógrafo gasoso utilizado neste estudo.



Fonte: A autora

4.7 Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massa (CG/EM)

A técnica da Cromatografia Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas (CG/EM) é uma técnica hibrida já que cada uma das suas partes realiza um determinado processo analítico. A CG (Cromatografia Gasosa) realiza a separação dos componentes de uma mistura gasosa a ser analisada e a EM (Espectrometria de Massa) realiza a identificação dos componentes químicos gasosos separados pelo CG.

O CG/EM é um método rápido que fornece informações valiosas sobre a análise de produtos naturais usado para analisar misturas orgânicas e bioquímicas complexas, pesticidas e compostos orgânicos voláteis e semivoláteis no meio ambiente (Bustillos, 2020).

De acordo com Chiaradia et al. (2008) a vinculação de um Cromatógrafo com o detector dos analitos (Espectrômetro de massas) agrega as vantagens da Cromatografia (alta seletividade e eficiência de separação) com os benefícios da Espectrometria de massas (obtenção de informação estrutural, massa molar e aumento adicional da seletividade). Ainda segundo Chiaradia et al. (2008) a CG/EM é aplicável a compostos voláteis e termicamente estáveis nas temperaturas relativamente elevadas empregadas durante o processo de separação Cromatográfica.

De acordo com Maurer (1992) o Espectrômetro de Massas pode ser acoplado com outros equipamentos para aumentar a precisão dos resultados. A EM é uma das técnicas mais sensíveis para detectar substâncias presentes em uma amostra.

O EM discrimina os analitos por meio de sua razão massa/carga (m/z), mas tem a contribuição no seu espectro de fracionamentos moleculares além das contribuições isotópicas, facilitando a identificação do analito por meio do espectro de massas (Bustillos, 2020; Pitt, 2009).

Neste estudo o método Headspace (HS) automatizado, baseado no procedimento D 6040 (Wallace e Stenerson, 2008), foi aplicado para extrair os compostos BTEX das amostras de

água subterrânea coletadas em campo. Dos 100 mL de cada amostra foi extraída uma alíquota de 15 mL e colocada em frasco de 20 mL, lacrado com selo de alumínio e septo de teflon. As amostras foram então embaladas em blocos de alumínio, colocadas no amostrador automático Triplus RSH e aquecidas a 80°C por 10 minutos.

Os compostos BTEX foram quantificados com um cromatógrafo gasoso da marca Trace 1300 (Thermo Scientific) acoplados a um espectrômetro de massa TSQ 8000 (Thermo Scientific). Aqui foi utilizada uma coluna TG-5MS (Thermo Scientific), composta por 5% de fenil e 95% de dimetilsiloxano, com filme de 30 m x 0,32 mm x 0,25 µm. A temperatura do forno da coluna foi de 40°C por 1 minuto, aumentada para 70°C, a 5°C por minuto, e finalmente para 70-220°C a 30°C por minuto.

O gás de arraste foi o hélio (99,999% puro) utilizado a uma vazão de 1,0 mL/min. O injetor foi operado a 280°C no modo split. A temperatura da linha de transferência foi de 250°C e a fonte de íons estava presente a 230°C. Uma alíquota de 1000 µL da amostra contida no headspace foi injetada no cromatógrafo.

Os Limites de Quantificação (LQ) para os contaminantes BTEX foram 0,05 µg L-1 para Benzeno, Etilbenzeno e Xileno, e 0,1 µg L-1 para Tolueno.

4.8. **Postos de abastecimentos**

Segundo Vodonis (2014) os Postos Revendedores de Combustíveis (PRC) (Figura 8), são empreendimentos de pequeno a médio porte com atividade comercial de prestação de serviços, cabe destacar que tanto a instalação, como a operação e desativação do empreendimento podem causar impactos ao meio ambiente de baixa a alta significância e magnitude. Devido às suas características essenciais, como o fato de armazenarem produtos inflamáveis, possuírem uma condição de atmosfera explosiva e quimicamente prejudicial à saúde, entre outros, geram situações de risco às pessoas que circulam nestes postos, assim como a população em geral. Este é um problema sério, pois a maioria dos vazamentos subterrâneos de gasolina se deve à corrosão em tanques de armazenamento subterrâneos em postos de gasolina. Solo contaminado com gasolina tem sido apontado como um dos maiores riscos à qualidade da água devido a vida média de tanques de abastecimentos serem de 25 anos às diversas fases que a gasolina apresenta sempre que entra em contato com o solo.

Figura 8. Posto de abastecimento com o tanque de armazenamento

Fonte: Brasil Posto (2017).

4.9 Água subterrânea

Em um derramamento de gasolina, umas das principais preocupações é a contaminação de aquíferos que sejam usados como fonte de abastecimentos de água para consumo humano.

Por ser muito pouco solúvel em água, a gasolina derramada, contendo mais de 400 componentes, inicialmente estará no subsolo como líquido de fase não aquosa (NAPL). Em contato com a água subterrânea, a gasolina se dissolverá parcialmente.

Os hidrocarbonetos mono aromáticos: benzeno, tolueno e xilenos, chamados BTEX são os componentes presentes na gasolina que possuem maior solubilidade em água e, portanto, são os primeiros contaminantes a atingir o lençol freático. Estes compostos são considerados substâncias perigosas por serem depressoras do sistema nervoso central. O benzeno é comprovadamente carcinogênico podendo causar leucemia.

A contaminação de águas subterrâneas por vazamentos de postos de combustível é uma preocupação crescente no Brasil.

4.10 Contaminação

A contaminação pode ser definida como a introdução de um agente indesejável em um meio previamente não contaminado (ACIESP, 1987). Segundo Cetesb (2001), uma área contaminada é caracterizada por toda e qualquer substância, resíduos que tenham sido depositados, acumulados, armazenados ou infiltrados, que podem gerar impactos negativos ao meio ambientes, sendo necessário um plano de remediação emergente e eficiente.

Com base na legislação vigente, representada pela Lei nº 13.577/2009 e seu Regulamento, pelo Decreto nº 59.263/2013, a Diretoria Plena da CETESB aprovou a Decisão de Diretoria nº 038/2017. Essa decisão estabelece diretrizes e procedimentos essenciais para a proteção da qualidade do solo e das águas subterrâneas, bem como para o gerenciamento de

áreas contaminadas. Essas medidas são fundamentais para assegurar a preservação ambiental e a saúde pública.

O Brasil, mesmo sendo beneficiado com grande porcentagem de água, apresenta problemas de escassez devido ao mau uso, a má distribuição, e poluição de vários rios, lagos e reservatórios, afetando grande parte da população. Nesse contexto cresce em importância as águas subterrâneas, pois esta é, cada vez mais, procurada e encontrada no subsolo, posto isto, remediar futuras contaminações dos lençóis freáticos é essencial para a manutenção de vida futura no planeta Terra.

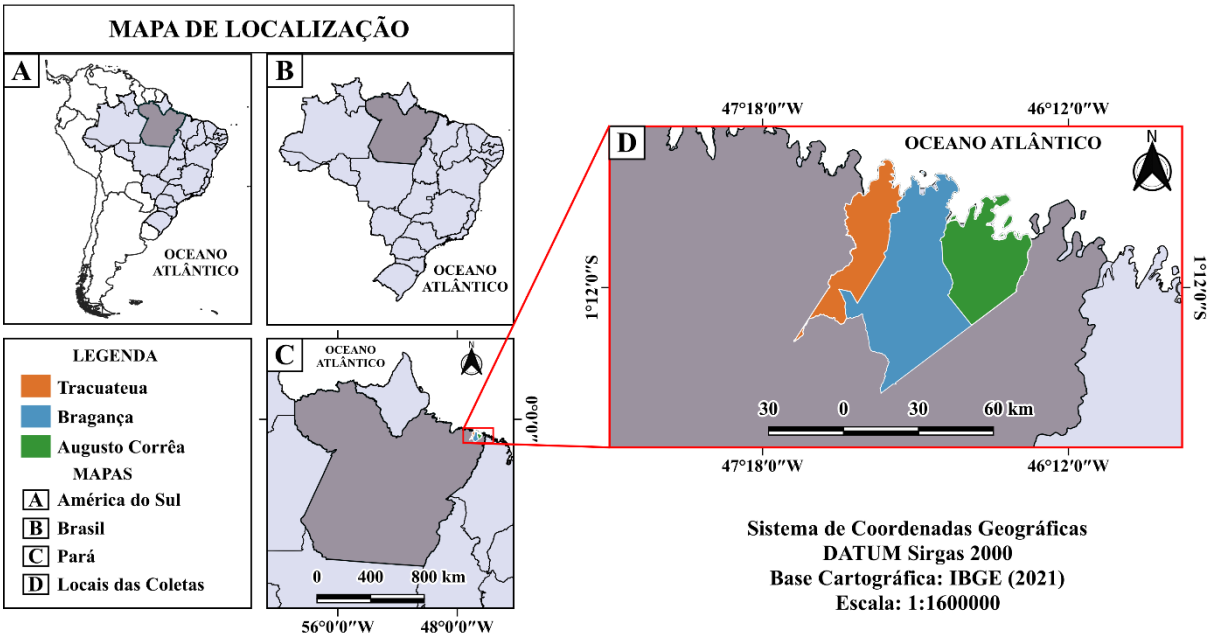
5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada nas cidades de Bragança, Tracuateua e Augusto Correa, Nordeste do estado do Pará (Brasil) (Figura 9).

De acordo com o IBGE (2022) a cidade de Bragança possui uma área territorial de 2.124,734 km^2 e uma população estimada de 130.122 pessoas. A cidade de Bragança está geograficamente localizada a uma latitude 1°3'57"S e longitude 46°47'22"W. A cidade de Tracuateua possui uma área territorial de 868, 025 km^2 e tem uma população estimada de 31.549 pessoas com as coordenadas geográficas: latitude 01°04’34” S e longitude 46°54’11” W. A cidade de Augusto Corrêa tem como coordenadas: Latitude de 1°01’19” S e Longitude de 46°38’42” W (ALMEIDA e SILVA, 1998). Segundos dados do IBGE (2022) a referida cidade possui uma população estimada em 46.937 habitantes, e uma área territorial de 1.099,619 km².

Figura 9. Mapa de localização das cidades de Bragança (Pará), Tracuateua e Augusto Corrêa, onde foram coletadas as amostras de água.



Fonte: IBGE (2022) e a autora.

O município de Augusto Corrêa apresenta uma geologia diversificada, com destaque para os períodos Paleógeno e Neôgeno. No Paleógeno, encontram-se depósitos aluvionares recentes de cascalhos, areias e argilas, enquanto no Neôgeno, observam-se características da

Formação Barreiras e Formação Pirabas, compostas por sedimentos clásticos (SANTOS et al., 1999).

A geologia dos munípios de Bragança e Tracuateua é diversificada, com destaque para os sedimentos da Formação Barreiras e a presença de solos específicos em cada região. Em Bragança, predominam os solos arenosos litorâneos, solos mal drenados em áreas de planície e solos de mangue na zona costeira. Já em Tracuateua, a presença de três períodos geológicos - Paleógeno, Neôgeno e a Suíte Intrusiva Proterozóide Inferior, onde contribui para a variedade geológica, com diferentes formações de relevo como planícies flúvio-marinhas, terraços marinhos e campos naturais (PARÁ, 2014)

O clima nas cidades de Bragança, Tracuateua e Augusto Corrêa é tropical úmido, que segundo Koppen, foi classificado como sendo do tipo Am. A temperatura média anual nessas regiões varia em torno de 26.3-27.3 °C, com variações sazonais, sendo novembro o mês mais quente e fevereiro o mais frio. A precipitação pluviométrica anual é em torno de 2310 mm, com variações ao longo do ano, sendo março o mês mais chuvoso e outubro o mais seco (ICMBIO, 2014; PARÁ, 2014).

Segundo dados do INMET (2020) os valores pluviométricos médios anuais registrados é 2.100 a 2.508 mm, os quais estão concentrados principalmente nos primeiros seis meses do ano. Os meses mais secos, concentrados nos meses de setembro, outubro e novembro, com chuvas que não ultrapassam os 50 mm (INMET, 2020). A Umidade Relativa varia de 84% a 91% durante o ano, demonstrando ser uma região muito úmida o ano inteiro.

5.2 Análise e determinação de BTEX

A metodologia aplicada para análise de amostras de água por BTEX neste trabalho foram as técnicas analíticas de investigação de Cromatografia Gasosa (CG) acoplada à Espectrometria de Massa (CG/EM) (Harris, 2012; Lopes, 2011; Collins et al., 2011; Luz, 2010; Marchetti, 2009; Saari, 2009; Skoog, 2009; Skoog, 2006), devido ao bom desempenho das mesmas para este tipo de análise.

Neste estudo o método Headspace (HS) automatizado, baseado no procedimento D 6040 (Wallace e Stenerson, 2008), foi aplicado para extrair os compostos BTEX das amostras de água subterrânea coletadas em campo. Dos 100 mL de cada amostra foi extraída uma alíquota de 15 mL e colocada em frasco de 20 mL, lacrado com selo de alumínio e septo de teflon. As amostras foram então embaladas em blocos de alumínio, colocadas no amostrador automático Triplus RSH e aquecidas a 80°C por 10 minutos.

Os compostos BTEX foram quantificados com um cromatógrafo gasoso da marca Trace 1300 (Thermo Scientific) acoplados a um espectrômetro de massa TSQ 8000 (Thermo Scientific). Aqui foi utilizada uma coluna TG-5MS (Thermo Scientific), composta por 5% de fenil e 95% de dimetilsiloxano, com filme de 30 m x 0,32 mm x 0,25 µm. A temperatura do forno da coluna foi de 40°C por 1 minuto, aumentada para 70°C, a 5°C por minuto, e finalmente para 70-220°C a 30°C por minuto.

O gás de arraste foi o hélio (99,999% puro) utilizado a uma vazão de 1,0 mL/min. O injetor foi operado a 280°C no modo split. A temperatura da linha de transferência foi de 250°C e a fonte de íons estava presente a 230°C. Uma alíquota de 1000 µL da amostra contida no headspace foi injetada no cromatógrafo.

5.3 Coleta de amostras de água e determinação de BTEX

Para esse estudo foram realizadas cinco coletas. A primeira coleta ocorreu em outubro (2021), ao todo foram coletadas 29 amostras de água nas proximidades de 16 postos de combustíveis nas cidades de Bragança, Tracuateua e Augusto Corrêa para analisar se as mesmas estão contaminadas por hidrocarbonetos monoaromáticos.

A segunda coleta ocorreu em janeiro (2022) e a terceira em julho (2022) respectivamente nas cidades de Bragança, Tracuateua e Augusto Corrêa, ao todo foram coletadas 58 amostras de água na proximidade de 32 postos de combustível para saber se as mesmas estavam contaminadas.

A quarta coleta aconteceu em novembro (2022), ao todo foram coletadas 29 amostras de água nas proximidades de 16 postos de combustíveis das cidades de Bragança, Tracuateua e Augusto Corrêa para analisar se as mesmas estão contaminadas com hidrocarbonetos monoaromáticos. Desde total 14 amostras de água foram coletadas na cidade de Bragança, 03 na cidade de Tracuateua e 12 na cidade de Augusto Corrêa.

A quinta coleta ocorreu em abril (2023) e foram coletadas 29 amostras. Sendo 16 amostras em Bragança, 03 amostras na cidade de Tracuateua e 12 amostras em Augusto Corrêa. Em agosto de 2023, foi realizada a sexta coleta, com 29 amostras.

Nas coletas foram consideradas amostras de água oriundas subterrâneas de poços artesianos de residências distantes dos postos em um raio de até 200m, ou no próprio posto das cidades estudadas. O processo de aquisição das amostras de água seguiu o seguinte procedimento:

- As torneiras existentes nos locais foram abertas durante aproximadamente 3 a 5 minutos, para que sejam retiradas as sujeiras, ar e/ou resíduos contidos na tubulação e em seguida, foi realizada a coleta da amostra de água,
- As amostras de água subterrânea foram coletadas em frascos de vidro âmbar de 100 ml (Figura 10), previamente lavados, esterilizados, vedados, etiquetados e preservados a temperatura de 4º C em isopores térmicos conservados com bolsa térmica transportados até 24h para análise no Laboratório da Seção de Meio Ambiente, do Instituto Evandro Chagas (SAMAM/IEV), Belém (Pará).

Figura 10. Frasco de vidro âmbar usado para a coleta de amostras de água subterrânea.

Fonte: A autora

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os valores obtidos de hidrocarbonetos monoaromáticos em cada amostra de água subterrânea coletada de Bragança, Tracuateua e Augusto Corrêa foram comparados aos valores máximos permitidos de concentração de BTEX em água potável de acordo com o Ministério da Saúde, Portaria n° 888/2021(BRASIL, 2021).

No mês de outubro de 2021 foram coletadas 29 amostras de água nas proximidades de 16 postos de combustíveis nas cidades de Augusto Corrêa, Bragança e Tracuateua para analisar se as mesmas estão contaminadas com hidrocarbonetos monoaromáticos. Desde total 12 amostras de água foram coletadas em Augusto Corrêa no mês de outubro (Tabela 1), na cidade de Bragança foram coletadas 14 amostras (Tabela 2) e em Tracuateua 3 amostras (Tabela 3).

Na Tabela 2 foi destacado em vermelho o valor de concentração de BTEX que teve ocorrência, como foi o caso de Etilbenzeno (duas amostras: 0,43 e 2,28 µg/L,). O restante das amostras apresentou valores abaixo do Limite de Quantificação (LQ) da técnica combinada CG-EM.

Tabela 1. Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Augusto Corrêa (outubro, 2021).

Amostras	Local	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xileno (µg/L)
A 01	Res. Próx. Ao posto no. 13	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A 02	Posto no. 13	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A 03	Res. Próx. Posto no. 13	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A 04	Res. Próx. Ao posto no. 14	< LQ	< LQ	<LQ	< LQ
A 05	Res. Próx. Ao posto no. 14	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A 06	Res. Próx. Ao posto no. 14	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A 07	Posto no. 14	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A 08	Res.Próx. Posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A 09	Res.Próx. Posto no. 15	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A 10	Res. Próx. Posto no. 15	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A 11	Posto no. 15	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A 12	Posto no. 16	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Limite de Quantificação do Método -LQ (µg/L)	0,19	0,13	0,16	0,22
	Valores máximos permitidos-VMP (µg/L) (Brasil, 2021)	5	30	300	500

Fonte: A autora.

Tabela 2. Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Bragança (outubro, 2021).

Amostras	Local	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xileno (µg/L)
A13	Loja de conveniências (posto no.1)	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A14	Posto no. 2	<LQ	<LQ	0,43	<LQ
A15	Posto no.3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A16	Posto no. 4	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A17	Res.1(pròx. Ao posto no.6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A18	Res.2 (próx. Ao posto no.6)	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A19	Posto no. 7	<LQ	<LQ	0,28	<LQ
A20	Posto no.8	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A21	Posto no. 9	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A22	Res.2 (prox. Ao posto no.10)	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A26	Posto no. 10	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A27	Posto no. 5	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A28	Posto no. 6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A29	Res. (prox. Ao posto no.10)	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
	Limite de Quantificação do Método- LQ (µg/L)	0,19	0,13	0,16	0,22
	Valores máximos permitidos -VMP(µg/L)(Brasil,2021)	5	30	300	500

Fonte: Souza & Oliva (2022).

Tabela 3. Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Tracuateua (outubro, 2021).

Amostras	Local	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xileno (µg/L)
A23	Posto no. 11	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A24	Mercadinho (ao lado do posto no. 12)	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A25	Posto no. 12	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
	Limite de Quantificação do Método -LQ (µg/L)	0,19	0,13	0,16	0,22
	Valores máximos permitidos -VMP (µg/L) (Brasil,2021)	5	30	300	500

Fonte: Souza & Oliva (2022).

No mês de janeiro de 2022 ocorreu a segunda coleta, onde foram coletadas 29 amostras de água nas proximidades de 16 postos de combustível nas cidades de Augusto Corrêa,

Bragança e Tracuateua. Desde total 12 amostras foram coletadas em Augusto Corrêa (Tabela 4), na cidade de Bragança foram 14 (Tabela 5) e 3 em Tracuateua (Tabela 6).

Na Tabela 4 foi destacado em vermelho o valor das concentrações de BTEX que teve ocorrência na cidade de Augusto Corrêa, como foi o caso do Tolueno (2,10 µg/L). Os restantes das amostras de Bragança e Tracuateua apresentaram valores abaixo do Limite de Quantificação (LQ) da técnica combinadas.

Tabela 4. Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Augusto Corrêa (janeiro, 2022).

Amostras	Local	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xileno (µg/L)
A 01	Res. próx. ao posto no. 13	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A 02	Posto no. 13	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A 03	Res. próx. ao posto no. 13	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A 04	Res. próx. ao posto no. 14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A 05	Res. próx. ao posto no. 14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A 06	Res. próx. ao posto no. 14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A 07	Posto no. 14	< LQ	2,10	< LQ	< LQ
A 08	Res. próx. ao posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A 09	Res. próx. ao posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A 10	Res. próx. ao posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A 11	Posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A 12	Posto no. 16	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Limite de Quantificação do Método -LQ (µg/L)	0,19	0,13	0,16	0,22
	Valores Máximos permitidos -VMP(µg/L) (Brasil, 2021)	5	30	300	500

Fonte: A autora.

Tabela 5. Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Bragança (janeiro, 2022).

Amostras	Local	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xileno (µg/L)
A13	Loja de conveniências (posto no.1)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A14	Posto no. 2	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A15	Posto no. 3	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A16	Posto no. 4	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A17	Res.1(pròx. Ao posto no.6)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A18	Res.2 (próx. Ao posto no 6)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ

A19	Posto no. 7	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A20	Posto no. 8	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A21	Posto no. 9	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A22	Res.2 (prox. Ao posto no.10)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A26	Posto no. 10	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A27	Posto no. 5	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A28	Posto no. 6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A29	Res. (próx. Ao posto no. 10)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Limite de Quantificação do método- LQ (µg/L)	0,19	0,13	0,16	0,22
	Valores máximos permitidos -VMP (µg/L) (Brasil, 2021)	5	30	300	500

Fonte: Souza & Oliva (2022).

Tabela 6. Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Tracuateua (janeiro,2022)

Amostras	Local	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xileno (µg/L)
A23	Posto no. 11	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A24	Mercadinho (ao lado do posto no. 12)	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A25	Posto no. 12	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Limite de Quantificação do método- LQ (µg/L)	0,19	0,13	0,16	0,22
	Valores máximos permitidos -VMP (µg/L) (Brasil, 2021)	5	30	300	500

Fonte: Souza & Oliva (2022).

Em julho de 2022 aconteceu a terceira coleta de água nas 3 cidades citadas, com tudo foram coletadas 29 amostras de água nas proximidades de 16 postos de combustíveis para analisar se as mesmas estão contaminadas com hidrocarboneto monoaromáticos. Onde desde total 12 amostras são coletadas em Augusto Corrêa (Tabela. 7), 14 em Bragança (Tabela 8) e 3 em Tracuateua (Tabela 9).

Nas tabelas 7 e 8 foram destacadas em vermelho os valores de concentração BTEX que teve ocorrência, como foi o caso de Tolueno (Augusto Corrêa: 0,140-0,236 µg/L; Bragança: 0,151-0,342 µg/L) e xileno (Bragança: 0,421-0,868 µg/L). Os restantes das amostras de Tracuateua apresentaram valores abaixo do Limite de Quantificação da técnica combinadas.

Tabela 7. Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Augusto Corrêa (julho, 2022).

Amostras	Local	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xileno (µg/L)
A01	Posto no.13	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A02	Res. Próx. Ao posto no. 13	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A03	Res. pròx. Ao posto no. 13	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A04	Posto no. 14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A05	Res. de frente ao posto no.14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A06	Res. de frente ao posto no 14	< LQ	0,140	< LQ	< LQ
A07	Res. de frente ao posto no 14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A08	Posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A09	Res. de frente ao posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A10	Res. de frente ao posto no. 15	< LQ	0,184	< LQ	< LQ
A11	Res. de frente ao posto no. 15	< LQ	0,236	< LQ	< LQ
A12	Posto no. 16	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Limite de Quantificação do método- LQ (µg/L)	0,19	0,13	0,16	0,22
	Valores máximos permitidos -VMP (µg/L) (Brasil, 2021)	5	30	300	500

Fonte: A autora.

Tabela 8. Resultados de BTEX de amostras de água coletadas em Bragança (julho, 2022).

Amostras	Local	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xileno (µg/L)
A13	Posto no. 1	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A14	Posto no. 2	< LQ	0,201	< LQ	< LQ
A15	Posto no. 3	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A16	Posto no. 4	< LQ	0,221	< LQ	< LQ
A17	Res. próx. Ao posto no. 6	< LQ	< LQ	< LQ	0,421
A18	Res. pròx ao posto no.6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A19	Posto no. 7	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A20	Posto no. 8	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A21	Posto no. 9	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A22	Res. pròx. Ao posto no. 10	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A26	Posto no. 10	< LQ	0,151	< LQ	< LQ
A27	Posto no. 5	< LQ	0,342	< LQ	0,868
A28	Posto no. 6	< LQ	0,228	< LQ	< LQ
A29	Res. próx. Ao posto no. 10	< LQ	0,203	< LQ	< LQ

	Limite de Quantificação do método- LQ (µg/L)	0,19	0,13	0,16	0,22
	Valores máximos permitidos -VMP (µg/L) (Brasil, 2021)	5	30	300	500

Fonte: Souza & Oliva (2022).

Tabela 9. Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Tracuateua (julho, 2022).

Amostras	Local	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xileno (µg/L)
A23	Posto no.11	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A24	Mercadinho Ao lado do posto no. 12	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A25	Posto no. 12	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Limite de Quantificação do método- LQ (µg/L)	0,19	0,13	0,16	0,22
	Valores máximos permitidos -VMP (µg/L) (Brasil, 2021)	5	30	300	500

Fonte: Souza & Oliva (2022).

No mês de novembro de 2022 ocorreu a quarta coleta, onde foram coletadas 29 amostras de água nas proximidades de 16 postos de combustíveis das cidades de Bragança, Tracuateua e Augusto Corrêa para analisar se as mesmas estão contaminadas com hidrocarbonetos monoaromáticos. Desde total 12 amostras de água foram coletadas na cidade Augusto Corrêa (Tabela 10), 14 na cidade de Bragança (Tabela 11) e 3 na cidade de Tracuateua (Tabela 12). Na tabela 10 foi destacado em vermelho o valor de concentração de BTEX que teve ocorrência, como foi o caso de Tolueno (0,664 µg/L). O restante das amostras em Bragança e Tracuateua apresentaram valores abaixo do Limite de Quantificação (LQ) da técnica combinada CG-EM.

Tabela 10. Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Augusto Corrêa (novembro, 2022).

Amostras	Pontos de coleta	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xilenos (µg/L)
A01	Posto no. 13	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A02	Câmara Munic.dos Verea dores - do lado do posto no. 13	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A03	Res. próx. ao posto no. 13	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A04	Posto no. 14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A05	Res. de frente ao posto no. 14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ

A06	Res. de frente ao posto no. 14	< LQ	0,664	< LQ	< LQ
A07	Res. de frente ao posto no. 14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A08	Posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A09	Res. de frente ao posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A10	Res. de frente ao posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A11	Res. de frente ao posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A12	Posto no. 16	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Limites de Quantificação de Método-LQ (µg/L)	0,19	0,13	0,19	0,22
	Valores máximos permitidos - VMP (µg/L) (Brasil, 2021)	5	30	300	500

Fonte: A autora

Tabela 11. Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Bragança (novembro, 2022).

Amostras	Pontos de coleta	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xilenos (µg/L)
A13	Posto 01	<LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A14	Posto 02	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A15	Posto 03	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A16	Posto 04	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A17	Res. 1 Próx ao posto 6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A18	Res. 2 prox ao posto 6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A19	Posto 7	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A20	Posto 8	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A21	Posto 9	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A22	Res. Prox ao posto 10	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A26	Posto 10	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A27	Posto 5	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A28	Posto 6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A29	Res.1 Próx ao posto 10	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Limites de Quantificação de Método - LQ (µg/L)	0,19	0,13	0,19	0,22
	Valores máximos permitidos - VMP (µg/L) (Brasil, 2021)	5	30	300	500

Fonte: A autora.

Tabela 12. Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Tracuateua (novembro, 2022).

Amostras	Pontos de coleta	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xilenos (µg/L)
A23	Posto 11	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A24	Mercadinho próx. Ao posto 12	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A25	Posto 12	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Limites de Quantificação de Método - LQ (µg/L)	0,19	0,13	0,19	0,22
	Valores máximos permitidos -VMP (µg/L) (Brasil, 2021)	5	30	300	500

Fonte: A autora

Em abril de 2023, ocorreu a quinta coleta na cidade de Augusto Correa (Tabela 13), Bragança (Tabela 14) e Tracuateua (Tabela 15) todas as amostras apresentaram valores abaixo do limite de Quantificação (LQ) da técnica combinada CG-EM como podemos ver nas Tabelas 13 e 15.

Na Tabela 14 podemos ver em vermelho o valor de concentração de BTEX que teve ocorrência, como foi o caso de Tolueno (1,048µg/L) que está dentro do valor máximo permitido.

Todas as amostras das Tabelas 13, 14 e 15 estavam abaixo dos valores permitidos pelo Ministério de Saúde (Brasil, 2021).

Tabela 13. Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Augusto Corrêa (abril, 2023).

Amostras	Pontos de coleta	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xilenos (µg/L)
A01	Posto no. 13	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A02	Câmara Munic.dos Verea dores - do lado do posto no. 13	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A03	Res. próx. ao posto no. 13	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A04	Posto no. 14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A05	Res. de frente ao posto no. 14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A06	Res. de frente ao posto no. 14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A07	Res. de frente ao posto no. 14	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A08	Posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A09	Res. de frente ao posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A10	Res. de frente ao posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ

A11	Res. de frente ao posto no. 15	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A12	Posto no. 16	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Limites de Quantificação de Método - LQ (µg/L)	0,19	0,13	0,16	0,22
	Valores máximos permitidos - VMP (µg/L) (Brasil, 2021)	5	30	300	500

Fonte: A autora

Tabela 14. Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Bragança (abril, 2023).

Amostras	Pontos de coleta	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xilenos (µg/L)
A13	Posto 01	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A14	Posto 02	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A15	Posto 03	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A16	Posto 04	< LQ	1,048	< LQ	< LQ
A17	Res. 1 Próx ao posto 6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A18	Res. 2 prox ao posto 6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A19	Posto 7	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A20	Posto 8	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A21	Posto 9	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A22	Res. Prox ao posto 10	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A26	Posto 10	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A27	Posto 5	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A28	Posto 6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
A29	Res. 1 Próx ao posto 10	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ
	Limites de Quantificação de Método - LQ (µg/L)	1,0	1,0	1,0	1,0
	Valores máximos permitidos -VMP(µg/L) (Brasil, 2021)	5	30	300	500

Fonte: A autora.

Tabela 15. Resultados de BTEX das amostras de água coletadas em Tracuateua (abril, 2023).

Amostras	Pontos de coleta	Benzeno (µg/L)	Tolueno (µg/L)	Etilbenzeno (µg/L)	Xilenos (µg/L)
A23	Posto 11	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
A24	Mercadinho próx. Ao posto 12	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ

A25	Posto 12	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
	Limites de Quantificação de Método - LQ (µg/L)	1,0	1,0	1,0	1,0
	Valores máximos permitidos-VMP (µg/L)(Brasil,2021)	5	30	300	500

Fonte: A autora

De acordo com Freitas (2016) a presença desses contaminantes mesmo que dentro do valor permitido demonstram o impacto causado pela atividade varejista de revenda de combustíveis, e que com o passar do tempo podem exceder o limite de capacidade de suporte do meio provocando aumento da concentração dos contaminantes.

Brito (2013) avaliação a situação de contaminação de amostras de água por BTEX nos posotos de combustíveis na cidade de Bragança (Pará) e detectou em abril de 2013 três amostras contendo os quatro contaminantes: benzeno (0,22 µg/L) , tolueno (1,43-2,31 µg/L), etilbenzeno (0,67 µg/L) e xilenos (0,16-2,93 µg/L).

Silva e Oliva (2018) e Almeida (2019) realizaram um monitoramento sob a situação da contaminação das amostras de água por BTEX nos postos de combustíveis em Bragança (Pará) e identificaram que a contaminação ainda continuou, mas sem detecção do contaminante etilbenzeno. Os contaminantes detectados foram: benzeno (0,558 µg/L), tolueno (0,13-10,39 µg/L) e xileno (0,34-0,46 µg/L), entre dezembro de 2017 e dezembro de 2018. Apenas um destes postos de combustíveis (Almeida, 2019) coincidiu com a contaminação identificada por Brito (2013) e Silva e Oliva (2018).

Silva (2021) estudou durante o biênio 2020-2021 a existência de contaminação por BTEX nos postos de abastecimento de combustíveis nas cidades de Bragança e Tracuateua (Pará). Em 2020 identificou em um posto (Posto no. 04) uma amostra na cidade de Bragança com presença de Etilbenzeno (9,532 µg/L, período seco) e o restante das amostras apresentaram valores de BTEX's abaixo do Limite de Quantificação (LQ) das técnicas químicas combinadas e aplicadas. Já em 2021 a referida autora identificou presença de Etilbenzeno (0,29 e 0,43 µg/L, mês de outubro, período seco) em dois postos diferentes ao anterior e o restante das amostras apresentaram valores de BTEX's abaixo do Limite de Quantificação (LQ) das técnicas químicas combinadas e aplicadas.

Farias e Oliva (2021) avaliaram a existência da contaminação da subsuperfície por BTEX nos postos de abastecimento de combustíveis e seus arredores na cidade de Augusto Corrêa (Pará) durante o biênio 2020-2021. As amostras de água de poços artesianos avaliadas

apresentaram valores abaixo do Limite de Quantificação (LQ) da técnica combinada e aplicada. Estes valores de concentrações de BTEX não estão acima dos valores permitidos pela legislação brasileira em nenhum dos postos de combustíveis estudados.

Carmo e Oliva (2022) avaliaram a existência da contaminação da subsuperfície por BTEX nos postos de abastecimento de combustíveis e seus arredores na cidade de Augusto Corrêa (Pará) durante o biênio 2021-2022. Os autores aplicaram a técnica analítica da Cromatografia Gasosa (CG) acoplada à técnica da Espectrometria de Massas (EM). Foram analisadas 36 amostras de água de poços artesianos. As coletas aconteceram nos períodos seco (outubro 2021), chuvoso (janeiro 2022) e de transição (julho 2022). Na 1ª. coleta, todas as amostras apresentaram valores abaixo do Limite de Quantificação (LQ). Na 2ª. coleta apenas uma amostra reportou tolueno (2,10 µg/L). Na última coleta, três amostras apresentaram tolueno (0,140-0,236 µg/L). Nenhuma das amostras estudadas estiveram acima dos valores da legislação vigente.

Souza e Oliva (2022) avaliaram a existência da contaminação da subsuperfície por BTEX nos postos de abastecimento de combustíveis e seus arredores nas cidades de Bragança e Tracuateua (Pará) durante o biênio 2021-2022. Os autores aplicaram a combinação das técnicas analíticas Cromatografia Gasosa (CG) e Espectrometria de Massas (EM). Foram analisadas 51 amostras de água coletadas nos períodos seco (outubro 2021), chuvoso (janeiro 2022) e de transição (julho 2022). Na 1ª coleta (outubro 2021), em Bragança, apenas duas amostras apresentaram etilbenzeno (0,28 e 0,43 µg/L). Já em Tracuateua todos os valores estavam abaixo do Limite de Quantificação (LQ). Na 2ª coleta (janeiro 2022) as duas cidades apresentaram todas as amostras com valores abaixo do LD. Na 3ª e última coleta (julho 2022), em Bragança, seis amostras reportaram tolueno (0,151-0,342 µg/L) e duas amostras apresentaram xilenos (0,421 e 0,868 µg/L). Uma destas amostras reportou ambos contaminantes (tolueno 0,342 µg/L) e xilenos (0,868 µg/L)). Em Tracuateua, duas amostras apresentaram tolueno (0,141 e 0,167 µg/L). As amostras com os contaminantes estavam dentro do permitido pela legislação brasileira.

Gomes et al. (2023) avaliaram a existência da contaminação por hidrocarbonetos monoaromáticos (BTEX – Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xileno) do subsolo de postos de combustíveis e residências adjacentes na cidade de Bragança, no norte do Brasil durante os anos de 2017, 2018, 2021, and 2022. Os autores combinaram a ferramenta geofísica Ground Penetrating Radar (GPR), para detectar possíveis plumas de contaminação por BTEX, com a Cromatografia Gasosa (CG) e Espectrometria de Massas (EM), utilizadas para diagnosticar a presença de BTEX em amostras de água obtidas de poços localizados na área de estudo. O CG-

EM identificou Tolueno, Etilbenzeno e Xileno em 13 amostras de água (19,7% das amostras coletadas). Tolueno e xileno foram os compostos BTEX encontrados com maior frequência nas amostras. No entanto, nenhuma das amostras coletadas no estudo ultrapassou o limite estabelecido pela legislação brasileira para BTEXs em água potável.

Com base nos resultados dos estudos anteriores, na cidade de Bragança foi identificada a maior parte dos contaminantes com exceção do benzeno identificado apenas nos estudos de Brito (2013) e Almeida (2019). Na cidade de Augusto Corrêa foi apenas reportado neste estudo a ocorrência de tolueno. Em estudos anteriores (Farias & Oliva, 2021) os valores mesurados foram menores que o limite de quantificação. Já na cidade de Tracuateua, apenas Souza & Oliva (2022) detectaram duas amostras de tolueno no mês de julho de 2022 e nos seguintes períodos não foi reportado a presença de nenhum contaminantes na referida cidade.

Durante o presente estudo o restante das amostras não contaminadas apresentaram valores menores ao limite de detecção. As detecções dos contaminantes (tolueno, etilbenzeno e xilenos) estavam dentro dos limites permitidos pela legislação vigente.

Eze et al. (2021) avaliaram a extensão da contaminação do subsolo em torno de um local de derramamento de óleo na cidade de Osubi (Okpe, estado do Delta, sudoeste da Nigéria). Este estudo detectou as plumas de contaminação provocados pelo derrame de óleo e concentrações de hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH), hidrocarbonetos poliaromáticos (PAHs) e os contaminantes BTEX com concentrações elevadas nas amostras de água subterrânea coletadas no local de estudo.

Os BTEX mesmo em pequenas concentrações, podem acarretar danos à saúde humana causando desde irritação nos olhos, mucosa e pele, passando por enfraquecimento do sistema nervoso central, depressão da medula óssea, até o desenvolvimento de câncer, como no caso do benzeno, classificado como carcinogênico pela Organização Mundial da Saúde (OMS) este é agente mais agressivo dentre os BTEX (CARNEIRO, 2012).

7. CONCLUSÃO

A partir das análises realizadas nas três cidades amazônicas (Bragança, Tracuateua e Augusto Corrêa) constatou-se a presença de hidrocarbonetos monoaromáticos do tipo BTEX (tolueno, etilbenzeno e xilenos) na subsuperfície dos postos de combustíveis e seus arredores das referidas cidades.

Foram identificadas 17 amostras (11,72%) de água subterrâneas contaminadas com tolueno, etilbenzeno e xilenos. Tolueno e xilenos foram os compostos BTEX encontrados com maior frequência nas amostras. Os valores mensurados dos contaminantes estavam dentro dos valores permitidos pela legislação brasileira. O restante das amostras (88,28%) apresentou valores abaixo do Limite de Quantificação das técnicas analíticas combinada CG-EM.

Durante as cinco campanhas deste estudo é importante ressaltar que a coleta realizada no mês de julho de 2022 (época de férias) reportou a maior quantidade de amostras contaminadas nas três cidades (12 amostras, ~8,28%), ficando para um futuro trabalho investigar o porque deste valor alto dos contaminantes, as possíveis causas e se o mesmo se repete nos seguintes anos.

Em comparação com os estudos realizados anteriormente (2013, 2017, 2021 e 2022) nestas cidades amazônicas foi possível constatar que houve variações nos valores mensurados e na detecção dos contaminantes BTEX nas amostras de águas subterrâneas coletadas neste estudo. Portanto, antes estas variações, é fundamental a realização de um monitoramento contínuo da qualidade da água subterrânea nessas cidades, a fim de identificar a possível causa desta variação e sua fonte de contaminação, para alertar às autoridades competentes e possam ser implementadas medidas preventivas que possam minimizar estes indícios de contaminação.

Conclui-se que a realização desses estudos reforça a importância de uma gestão ambiental eficiente e de práticas sustentáveis no setor de combustíveis, a fim de garantir a proteção do meio ambiente e a qualidade de vida dos moradores das cidades estudadas, ressaltando a relevância de ações preventivas e de monitoramento para a preservação dos recursos naturais e a saúde pública.

REFERÊNCIAS

A3 ANALÍTICA. Princípios de Cromatografia a Gás. https://a3analitica.com.br/bloga3pharma/2019/01/08/principios-da-cromatografia-a-gas-gc/, 2019.

ALMEIDA, C. M. M.; BOAS, L. V. Analysis of BTEX and other substituted benzenes in water using headspace SPME-GC–FID: method validation. Journal of Environmental Monitoring, 6, 80–88, 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1039/B307053K. Acesso em: 18 abr. 2020.

ALMEIDA, N. DE O.. Estudo da contaminação por hidrocarbonetos monoaromáticos (BTEX) na subsuperfície de postos de combustíveis, no Município de Bragança (Pará). Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Naturais) – Universidade Federal do Pará, Bragança, 2019, 38 f..

ALMEIDA, F. M. Estudo da contaminação por hidrocarbonetos em postos de serviços do município de Abaetetuba- PA utilizando georadar. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, 2007, 142 f.

ALMEIDA, H.G.de, SILVA, G.B. da C.. Programa Informações para Gestão Territorial. Estado do Pará: CPRM, 1998.

AZEVEDO, T.G.C. Estudo da contaminação do Solo e da Água Subterrânea em área de posto de revenda de combustíveis através da difusão de Hidrocarbonetos BTEX e HPA.2017. 50 f. Trabalho de Conclusão de curso. Departamento de Engenharia Química, universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: 2023. Rio de Janeiro: ANP. Disponível em:http://www.anp.gov.br. Acessado em 14 de agosto de 2023.

ARAMBARRI, I.; LASA, M.; GARCIA, R.; MILLÁN, E. Determination of fuel dialkyl ethers and BTEX in water using headspace solid-phase microextraction and gas chromatography–flame ionization detection. Journal of Chromatography A, 1033(2), 193–203, 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.01.046. Acesso em: 17 jan. 2020

ANP. Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico de Petróleo e do Gás Natural 2017. 2018. Available online: http://www.anp.gov.br (accessed on.10 May 2024).

ACIESP- Glossário de ecologia. São Paulo: Publicação ACIESP. N 57, 1987.

BAHRAMIFAR, N.; YAMINI, Y.; SHARIATI-FEIZABADI, S.; SHAMSIPUR, M. Trace analysis of methyl tert-butyl ether in water samples using headspace solvent microextraction and gas chromatography–flame ionization detection. Journal of Chromatography A, 1042, 211–217, 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.05.033. Acesso em: 26 abr. 2020.

BEZERRA, P. G. Contaminação de águas subterrâneas por BTEX na Bacia do Rio Lucaia, Salvador, Bahia. Dissertação (Mestrado em Química), Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: petróleo e meio Ambiente, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 88f, 2011.

BIANCHI, F.; CARERI, M.; MARENGO, M.; MUSCI, M. Use of experimental design for the purge-and-trap-gas chromatography-mass spectrometry determination of methyl tert - butyl ether, tert.-butyl alcohol and BTEX in groundwater at trace level Chromatogr. J. Chromatogr. A. 975(1):113-21, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria no. 888, de 04 de maio de 2021. Dispõe sobre a alteração do Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562. Acessado em: 07 fevereiro 2022.

BRITO, R. P. Estudo da Contaminação Ambiental por Hidrocarbonetos na Subsuperfície em Postos de Combustíveis, no Municipio de Bragança (PA), Usando o Método Ground Penetrating Radar (GPR) e a Técnica da Cromatografia Gasosa (CG). 97f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará. 2013.

BUSTILLOS, O. V. A cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas – GC/MS. Revista Analytica, 28-30, 2020. https://revistaanalytica.com.br/analytica-ed-105/

BAGHANI A.N.; SOROOSHIAN A.; HEYDARI M.; SHEIKHI S.; GOLBAZ Q.; ASHOURNEJAD M.; KERMANI F.; GOLKHORSHIDI A.; BARKHORDARI A. J.; JAFARI M.; DELIKHOON A.; SHAH-SAVANI A. A case study of BTEX characteristics and health effects by major point sources of pollution during winter in Iran, Environ. Pollut 2019, 247, 607–617, doi: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.070

CARMO, R. da S. do & OLIVA, P. A. C.. Estudo da contaminação da subsuperfície por hidrocarbonetos monoaromáticos nos principais postos de combustíveis do município de Augusto Corrêa (Pará) – fase 2. Iniciação Científica. Universidade Federal do Pará, 2022.

CARNEIRO, P.M., 2012. Remoção de BTEX em Biorreatores Anaeróbio sob Condições Metanogênicas, Desnitrificantes e Sulfetogênicas. 129 p. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Brasil.

CARVALHO, J.B.B.; FORTES. J.B.N.; CORRÊA. S.M.; MARTINS. E.M. Impactos dos BTEX em áreas urbanas da cidade do Rio de Janeiro. Quim. Nova, vol.43, N° 7, 870-877, 2020.

CHIARADIA, M. C., COLLINS C. H., JARDIM, I. C. S. F. O estado da arte da cromatografia associada à espectrometria de massas acoplada à espectrometria de massas na análise de compostos tóxicos em alimentos. Quim. Nova, Vol. 31, No. 3, 623-636, 2008.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. 248 p. São Paulo, 2001.

CÔCCO, L. C.; YAMAMOTO, C. I.; VON MEIEN, O. F. Study of correlations for physicochemical properties for Brazilian gasoline. Chemometrics and intelligent laboratory systems, 76, 55-63, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2004.09.004. Acesso em: 13 jan. 2021.

COLLINS, C. H.; BRAGA, G. L.; BONATO, P. S. Fundamentos de Cromatografia. Campinas: Editora Unicamp, 2011.

CORSEUIL, H. X., MARINS, M. D. M. Contaminação de Águas Subterrâneas por Derramamentos de Gasolina: O Problema É Grave? Revista Engenharia Sanitária e Ambiental 2: 50-54. 1997.

DING L., CUPPLES A. M. The effect of the potential fuel additive isobutanol on benzene, toluene, ethylbenzene, and p-xylene degradation in aerobic soil microcosms. *Environmental Technology* 2015, *36*, 237-244, doi: 10.1080/09593330.2014.943298

DÓREA, H. S.; BISPO, J. R. L.; ARAGÃO, K. A. S.; CUNHA, B. B.; NAVICKIENE, S.; ALVES, J. P. H.; ROMÃO, L. P. C.; GARCIA, C. A. B. Analysis of BTEX, PAHs and metals in the oilfield produced water in the State of Sergipe, Brazil. Microchemical Journal, 85(2): 234-238, 2007.

DRON, J.; GARCIA, R.; MILLÁN, E. Optimization of headspace solid-phase microextraction by means of na experimental design for the determination of methyl tert.zbutyl ether in water by gas chromatography–flame ionization detection. Journal of Chromatography A. 963, 259–264, 2002. https://doi.org/10.1016/S0021-9673(02)00359-X.

EZE, S. U.; OGAGARUE D. O.; NNOROM S. L.; OSUNG W. E.; IBITOYE T. A. Integrated geophysical and geochemical methods for environmental assessment of subsurface

hydrocarbon contamination. Environ Monit Assess 2021, 193, https://doi.org/10.1007/s10661-021-09219-3

FARIAS, J. R. & OLIVA, Estudo da contaminação da subsuperfície por hidrocarbonetos monoaromáticos nos principais postos de combustíveis do município de Augusto Corrêa (Pará). 2021. Iniciação Científica. (Graduando em Ciências Naturais) – Universidade Federal do Pará.

FREITAS, E. V. C.; SÁ BARRETO, F. M.; NETO, M. F. A.; CAVALCANTE, R. M. Avaliação do uso da cromatografia gasosa para detecção de hidrocarbonetos monoaromáticos na água subterrânea na região Norte do Município de Fortaleza (CE). Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. V. 30, n. 2, p. 289-305, 2016.

FAYEMIWO O. M.; DARAMOLA M. O.; MOOTHI K.. BTEX compounds in water – future trends and directions for water treatment. Water AS 2017, 43, 602-613, doi: http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v43i4.08.

GOMES, K. J. M., OLIVA, P. A. C., ROCHA H. O. DA; MENDES, R. DE A.; COSTA, A. C. G. DA, MIRANDA, C. DOS S., ALMEIDA, N. DE O., 2023. Evaluation of the contamination of the subsurface and groundwater by monoaromatic hydrocarbons in an eastern Amazonian town in northern Brazil. Environ Earth Sci *82*, 23. https://doi.org/10.1007/s12665-022-10680-7

GORAYEB, A.; PEREIRA, L. C. C. Análise integrada das paisagens de Bacias Hidrográficas na Amazônia Oriental. Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2014, 108 p.

HELENO, F.F., LIMA, A.C., AFONSO, R.J.C.F., COUTRIM, M.X., 2010. Otimização e validação de métodos analíticos para determinação de BTEX em água utilizando extração por Headspace e Microextração em fase sólida. Quim. Nova, 33, 329-336.

HARRIS, D. C. Análise química quantitativa. 8ª. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HADEI M.; HOPKE P.K.; RAFIEE M.; RASTKARI N.; YARAHMADI M.; KERMANI M.; SHAHSAVANI A. Indoor and outdoor concentrations of BTEX and formaldehyde in Tehran, Iran: effects of building characteristics and health risk assessment. Environ. Sci. Pollut. Res 2018, 25, 27423–27437, doi: https://doi.org/10.1007/s11356-018-2794-4

IBGE, 2022. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. Ano de referência 2022. Available online: < https://cidades.ibge.gov.br/> Acesso em 14/08/23.

ICMBIO, 2014. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Estudo socioambiental referente à proposta de ampliação da reserva extrativista marinha Araí-Peroba, Estado do Pará. Ministério do Meio Ambiente, Brasil.

INMET, 2020. Instituto Nacional de Meteorologia - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. https://portal.inmet.gov.br/ Acesso em 02/08/2020.

IARC. International Agency for Research on Cancer. World cancer report 2014. Editors: Bernard W. Stewart and Chritopher P. Wild. World Health Organization, Switzerland. 2014, 630 p

JOCHMANN, M. A., KMIECIK, M. P.; SCHMIDT, T. C. Solid-phase dynamic extraction for the enrichment of polar volatile organic compounds from water. Journal of Chromatography A, 1115, 208–216, 2006. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.02.061.

KUBINEC, R.; BEREZKIN, V.; GÓROVÁ, R.; ADDOVÁ, G.; MRACNOVÁ, H.; SOJÁK, L.J. Needle concentrator for gas chromatographic determination of BTEX in aqueous samples. Journal of Chromatography B, v. 800, n. 1-2, p. 295-301. Elsevier BV. 2004.

LACORTE, S.; OLIVELLA, L.; ROSELL, M.; FIGUERAS, M.; GINEBREDA, A.; BARCELÓ, D. Cross-validation of methods used for analysis of MTBE and other gasoline components in groundwater. Chromatographia, 56(11-12):739-744, 2002.

LEE, M. R.; CHANG, CH-M.; DOU, J. Determination of benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes in water at sub-ng l1 levels by solid-phase microextraction coupled to cryo-trap gas chromatography–mass spectrometry. Chemosphere, 69, 1381-1387, 2007. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.05.004.

LOPES, V. S. DE M. Avaliação preliminar da contaminação por BTEX, em água subterrânea de poços tubulares, no município de Natal, RN. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2011.

LUZ, L. P. DA. Estudo da viabilidade de uso da técnica de cromatografia gasosa bidimensional abrangente (GCxGC) no estudo de hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA) em sedimentos. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 112 p. 2010.

LINS E. A. M.; SOUZA R. B. R. DE. Btex contaminated area diagnosis and mapping: case study. International Journal of Development Research 2019, 09, 31548-31553, ISSN: 2230-9926.

MARCHETTI, M., D. Tratamento de águas subterrâneas contaminadas com BTEX utilizando Processo Oxidativo de Fenton. Dissertação de Mestrado. Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo, 89 p. 2009.

MAURER, H. H. Systematic toxicological analysis of drugs and their metabolites by gas chromatography-mass spectrometry. Journal of Chromatography, 580, 3-4l, 1992.

MENÉNDEZ, J.C.F.; FERNÁNDEZ M.L., SÁNCHEZ J. E.U., FERNÁNDEZ E. M., SANZ-MEDEL A. Static headspace, solid-phase microextraction and headspace solid-phase microextraction for BTEX determination in aqueous samples by gas chromatography. Analytica Chimica Acta, 415(1-2):9-20, 2000.

MINDRISZ, A.C., 2006. Avaliação da contaminação da água subterrânea de poços tubulares, por combustíveis fósseis, no município de Santo André, São Paulo: uma contribuição à gestão ambiental. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo (SP), 254 p.

MIRI, S.; ESPEJEL-PÉREZ, J.A.; KAUR BRAR, S.; ROUISSI, T.; MARTEL, R. Sustainable production and co-immobilization of cold-active enzymes from Pseudomonas sp. for BTEX biodegradation. Environ. Pollut 2021, 285, 117678. doi:10.1016/j.envpol.2021.117678

MITRA S.; ROY P. BTEX: A Serious Ground-water Contaminant. Research Journal of Environmental Sciences, 2011, 5, 394-398, doi: 10.3923/rjes.2011.394.398

MOTA, S.. Introdução à Engenharia Ambiental. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 1997

NADIM, F., HOAG, G. E., LIU, S., CARLEY, R.J., ZACK, P. Detection and remediation of soil and aquifer systems contaminated with petroleum products: na overview. Journal of Petroleum Science and Engineering 26: 169-178. 2000.

NAKAMURA, S.; DAISHIMA, S. Simultaneous determination of 22 volatile organic compounds, methyl-tert-butyl ether, 1,4-dioxane, 2-methylisoborneol and geosmin in water by headspace solid phase microextraction-gas chromatography–mass spectrometry. Analytica Chimica Acta, 548(1-2), 79-85, 2005. https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.05.077

PAVÓN, J. L. P.; SANCHEZ, M. D. N.; LAESPADA, M. E. F.; CORDERO, B. M. J. Simultaneous determination of gasoline oxygenates and benzene, toluene, ethylbenzene and xylene in water samples using headspace-programmed temperature vaporization-fast gas chromatography–mass spectrometry. Journal of Chromatography A, 1175(1):106-111, 2007.

PITT, J. J. Principles and Applications of Liquid Chromatography-Mass Spectrometry in Clinical Biochemistry. Clin Biochem Rev, 30, 19-34, 2009.

POPP, P.; PASCHKE, A. Solid phase microextraction of volatile organic compounds using carboxen-polydimethylsiloxane fibers. Chromatographia, 46(7-8): 419-424, 1997.

PARÁ. Secretária de Estado e Turismo. **Inventário da Oferta Turistica - Augusto Corrêa, Pará**. 2014.

POPITANU C.; CIOCA G.; COPOLOVICI L.; IOSIF D.; MUNTEANU F. D.; COPOLOVICI D. The easonality impact of the BTEX pollution on the atmosphere of arad city, Romania, Int. J. Environ. Res. Public Health 2021, 18, 4858, doi: https://doi.org/10.3390/ijerph18094858

REGO, E. C. P. do; NETTO, A. D. P.. PAHs and BTEX in Groundwater of Gasoline Stations from Rio de Janeiro City, Brazil. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, [s.l.], v. 79, n. 6, p.660-664, 13 nov. 2007.

ROSELL, M.; LACORTE, S.; GINEBREDA, A.; BARCELÓ, D.. Simultaneous determination of methyl tert.-butyl ether and its degradation products, other gasoline oxygenates and benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes in Catalonian groundwater by purge-and-trap-gas chromatography–mass spectrometry. Journal Of Chromatography A, 995(1-2,):171-184, 2003.

RODRIGO-ILARRI, J.; RODRIGO-CLAVERO, M.-E.; CAPILLA, J.E.; ROMERO-BALLESTEROS, L. Environmental Assessment of Soil and Groundwater Pollution by BTEX Leaching in Valencia Region (Spain). Water 2023, 15, 3279, doi: https://doi.org/10.3390/w15183279

RAO, S. M.; JOSHUA R. E.; ARKENADAN L.. BTEX contamination of Bengaluru aquifers, Karnataka, India. Journal of Environmental Engineering and Science 2017, 12, 56–61, doi: http://dx.doi.org/10.1680/jenes.17.00013

SAARI, E. Towards minimizing measurement uncertainty in total petroleum hydrocarbon determination by GC-FID. Acta Univ. Oul. A., 544, 2009.

SANTOS, P. L. dos.; RODRIGUES, T. E.; OLIVEIRA JÚNIOR, R.C.; SILVA, J. M. L. da; VALENTE, M. A.; SILVA, P. R. O. de; CARDOSO JUNIOR, E. Q. Zoneamento agroecológico do município de Augusto Corrêa, Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999.

SERRANO, A.; GALLEGO, M. Direct screening and confirmation of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes in water.Journal Of Chromatography A, 1045(1-2), 181-188, 2004.

SILVA, E. de P. R. da. Análise da qualidade dos combustíveis e a influência dos mesmos na potabilidade de água nas proximidades dos postos de abastecimentos das cidades

de Bragança e Tracuateua (Pará). 2021. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Naturais) – Universidade Federal do Pará, Bragança, 2021.

SILVA, F. C. M. DA S.; OLIVA, P. C. Monitoramento da atenuação natural de plumas de contaminação devido a produtos de hidrocarbonetos de postos de combustíveis na cidade de Bragança (Pará). Iniciação Científica-Ensino Médio (EM), UFPA, 2018.

SILVA, R.L.B., BARRA, C.M., MONTEIRO, T.C. do N., BRILHANTE, O.M., 2002. Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e possíveis consequências para a saúde pública no Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 18,1599-1607.

SILVA, F. L. N., SANTOS JR., J. R., MOITA NETO, J. M., & SILVA, R. G. N. P. DA., 2009. Determinação de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos em gasolina comercializada nos postos do estado do Piauí. Quim. Nova, Vol. 32, No. 1, 56-60.

SKOOG, D.A. Princípios de Análise Instrumental, ed. 6, porto Alegre, Bookman, 2009.

SKOOG, D. A., WEST, D. M., HOLLER, J., CROUCH, S. R.. Fundamentos de Química Analítica. Editora: Cengage Learning. 2006.

SOUZA, Y. de F. & OLIVA, P. A. C.. Estudo da contaminação da subsuperfície por hidrocarbonetos monoaromáticos nos principais postos de combustíveis dos municípios de Bragança e Tracuateua (Pará) – fase 2. 2022. Iniciação Científica. Universidade Federal Pará.

TANABE, A.; TSUCHIDA, Y.; IBARAKI, T.; KAWATA, K.; YASUHARA, A.; SHIBAMOTO, T. Investigation of methyl tert-butyl ether levels in river-, ground-, and sewage-waters analyzed using a purge-and-trap interfaced to a gas chromatograph-mass spectrometer. Journal of Chromatography A, 1066, 159-164, 2005. https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.01.026.

TIBURTIUS, E. R. L, ZAMORA P. P., EMMEL A., LEAL, E. S. Degradação de BTXS via processos oxidativos avançados. Química Nova, v.28, n.1, p.61-64, 2005.

TAVARES, J. K. Remoção de compostos BTEX de soluções aquosas por adsorção. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2007.

VODONIS, B.G.. Análise preliminar de riscos em postos de combustíveis – Estudo de caso. 2014. 78 f. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

WALLACE R.; STENERSON K. Method 6040D, Odors in Drinking Water, Using SPME on the Supelco SLB-5ms Capillary Column. 2008.

https://www.chromatographyonline.com/view/method-6040d-odors-drinking-water-using-spme-supelco-slb-5ms-capillary-column. (accessed on 13 January 2022).

YU, B.; YUAN, Z.; YU, Z.; XUE-SONG, F. BTEX in the environment: An update on sources, fate, distribution, pretreatment, analysis, and removal techniques. Chem. Eng. J 2022, 435, 134825, https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.134825

YAMAMOTO, P. A.; MORAES, N. V. de.; SILVA, V. P.; LEPERA, J. S. ANÁLISE SIMULTÂNEA DOS INDICADORES BIOLÓGICOS DE EXPOSIÇÃO AOS SOLVENTES ETILBENZENO, ESTIRENO, TOLUENO E XILENO NA URINA POR CLAE-UV. Química Nova [online]. 2016, v. 39, n. 09, pp. 1131-1135. ISSN 1678-7064.

ZWANK, L., SCHMIDT, T.C., HADERLEIN, S.B., BERG, M., 2002. Simultaneous Determination of Fuel Oxygenates and BTEX Using Direct Aqueous Injection Gas Chromatography Mass Spectrometry (DAI-GC/MS). Environmental Science & Technology, 36, 2054–2059. https://doi.org/10.1021/es010270x