



CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS

ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ ISMAEL FERNANDES LIBERATO

**ESTUDO DOS POSSÍVEIS IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS
CAUSADOS PELA EXTRAÇÃO DE URÂNIO NA REGIÃO DE SANTA
QUITÉRIA**

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L695e Liberato, José Ismael Fernandes.
 Estudo dos possíveis impactos sobre os recursos hídricos
 causados pela extração de urânio na região de Santa Quitéria /
 José Ismael Fernandes Liberato. - 2021.
 47 f. : il. color.

 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro
 Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil,
 Fortaleza, 2021.
 Orientação: Profa. Dra. Elayne Valério Carvalho.

 1. Urânio. 2. Mineração. 3. Recursos hídricos. 4. Impactos
 ambientais. 5. Potabilidade. I. Título.

CDD 624

JOSÉ ISMAEL FERNANDES LIBERATO

ESTUDO DOS POSSÍVEIS IMPACTOS SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS
CAUSADOS PELA EXTRAÇÃO DE URÂNIO NA REGIÃO DE SANTA
QUITÉRIA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Profa. Dra. Elayne Valério Carvalho

FORTALEZA

2021

RESUMO

A extração de urânio, assim como qualquer atividade mineradora e econômica, é detentora de dois lados, um positivo e um negativo. Enquanto ocorre o desenvolvimento econômico da região onde a mina é instalada, é observado o rápido processo de degradação resultante da extração do minério, como poluição dos recursos hídricos, do solo e de outros elementos naturais da localidade. Portanto, este estudo tem como propósito realizar um levantamento de informações e avaliar os possíveis impactos resultantes da atividade mineradora de urânio na potabilidade da água de poços no entorno da mina de urânio localizada na cidade de Santa Quitéria-CE, na região Nordeste do Brasil. Para isso, foram coletadas amostras de água de três poços próximos à região da mina. A partir dos resultados obtidos pelo ensaio físico-químico, foi possível concluir que o urânio em grande incidência, principalmente nas áreas mais próximas da mina de Itataia, como o caso da comunidade de Queimadas, contribui de forma significativa e expressiva nas mudanças dos valores de alguns parâmetros analisados, tornando a água daquela região, uma substância com baixa potabilidade, sendo prejudicial para a saúde humana, quando consumido em um período longo de vida.

Palavras-chave: Urânio. Mineração. Recursos hídricos. Impactos ambientais. Potabilidade.

ABSTRACT

Uranium extraction, like any mining and economic activity, has two sides, a positive and a negative. While the economic development of the region where the mine is installed is taking place, the rapid degradation process resulting from the extraction of ore is observed, such as the pollution of water resources, the soil and other natural elements in the location. Therefore, this study aims to carry out a survey of information and evaluate the possible impacts resulting from the uranium mining activity on the potability of water from wells around the uranium mine located in the city of Santa Quitéria-CE, in the Northeast region of Brazil. For this purpose, water samples were collected from three wells close to the mine region. From the results obtained by the physicochemical test, it was possible to conclude that uranium in high incidence, especially in the areas closest to the Itataia mine, as in the case of the community of Queimadas, contributes significantly and significantly to changes in the values of some parameters analyzed, making the water in that region a substance with low potability, being harmful to human health, when consumed over a long period of life.

Keywords: Uranium. Mining. Water resources. Environmental impacts. Potability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Objetivos	5
1.1.1	Objetivo geral	5
1.1.2	Objetivos específicos	6
1.2	Estrutura do trabalho	6
2	REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1	Urânio	7
2.2	Extração de urânio nas minas	9
2.3	Benefícios da exploração de urânio	12
2.4	Mina de Caetité – Bahia	13
2.5	Mina de Itataia – Ceará	14
2.6	Potabilidade da água	15
2.7	Impactos ambientais	19
2.7.1	Impactos ambientais para os recursos hídricos	20
2.7.2	Impactos Ambientais para o Solo	23
2.8	Impactos para o ser humano	23
3	METODOLOGIA	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1	Caracterização das Amostras	31
4.1.1	ABNT NBR ISO/IEC 17025	31
4.2	Valores de resultados e análise	31
4.2.1	Comunidade de Morrinhos	31
4.2.2	Comunidade de Riacho das Pedras	33
4.2.3	Comunidade de Queimadas	36
5	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

A implantação de uma mina de extração é um projeto complexo e que necessita de modificações na infraestrutura da cidade para que possa ser implantada. Mesmo com todos os malefícios, a inserção de uma mina trará empregos para a região, além de melhorias na logística de toda a cidade, para que o transporte do produto seja realizado sem empecilhos. A cidade torna-se uma referência econômica na região, pois sua economia tende a crescer com a venda de urânio para outros estados e países..

Para a cidade de Santa Quitéria, o começo da extração de urânio será um marco para o crescimento da economia, pois gera empregos, movimentando a moeda na região, com o consumo de produtos pelos operários da empresa de extração, entre outros benefícios. Entretanto, por ser uma região onde a disponibilidade de água é limitada, a extração de urânio pode causar prejuízos irreversíveis no que diz respeito à contaminação dos recursos hídricos, mediante a contaminação dos mananciais.

O Brasil possui um território rico em urânio, apresentando cerca de 11% de toda a quantidade desse minério do planeta, o que faz desse país a sexta maior reserva mundial em urânio (GREENPEACE, 2008). Parte do urânio extraído é utilizado internamente em usinas na geração de energia elétrica, enquanto a outra parte é comercializada no mercado internacional, sendo exportado para países que necessitam desse minério para geração de energia. Contudo, mesmo sendo uma potência mundial em relação a depósitos de urânio é um importante exportador desse minério, o Brasil não possui uma quantidade representativa de minas de extração.

Diante disso, pode-se afirmar que a mineração de urânio no território brasileiro atingiu seu ápice, como resultado do Brasil não deter de aparatos tecnológicos para realizar todo o processo de transformação do urânio. Esse minério é vendido no mercado internacional, na sua forma bruta, em valores relativamente baixos, comparados ao preço pelo qual é vendido pelos países mais desenvolvidos, que vendem o urânio no estado enriquecido. Após ser triturado e concentrado, esse material atinge valores muito acima do mercado, tornando um minério muito valorizado por grandes indústrias (INDUSTRIAS NUCLEARES BRASILEIRA, 2019).

A principal mina de extração de urânio no Brasil é localizada na cidade de Caetité, no estado da Bahia. Existem projetos de instalação de minas na cidade de Santa Quitéria, no estado do Ceará, e na cidade de Caldas, no estado de Minas Gerais. Apesar de se tratar apenas de projetos orçados em análise, a instalação dessas minas tem causado preocupação diante dos possíveis impactos ambientais. Entretanto, a instalação de uma mina em uma determinada região apresenta também pontos positivos, como a geração de empregos e o aumento do capital de giro, proporcionando o crescimento econômico da região (INDUSTRIAS NUCLEARES BRASILEIRA, 2019).

A extração de urânio, como todo processo de mineração de matéria-prima, acarreta sérios problemas para todo o ecossistema existente na região. Especificamente a mineração de urânio, que além dos impactos negativos comuns à extração mineral, constitui-se em uma atividade com riscos de contaminação radioativa da região onde se localizam as minas. Entre os impactos causados, tem-se a poluição dos mananciais existentes na região; contaminação do solo, principalmente onde serão utilizados explosivos para abrir as minas e onde será feita a extração; remoção toda a vegetação do local; e prejuízos à fauna da região.

Além de todos os problemas ambientais, pode-se destacar os problemas que afetam o próprio ser humano, que ficam expostos à contaminação por diversos meios, como água contaminada com efluentes radioativos; ar poluído com partículas suspensas de urânio. Esse contato direto ou indireto com o urânio, pode ocasionar doenças como o câncer de pulmão ou de tireoide (SILVA, 2015).

O estado do Ceará, localizado na região Nordeste do país, apresenta dois tipos de clima: tropical úmido e semiárido (FOLHES e DONALD, 2007). Predomina na maior parte do território do estado o clima semiárido caracterizado pelo baixo potencial hídrico superficial, temperaturas elevadas e baixas precipitações de chuva. As condições climáticas dessa região resultam em longos períodos de estiagem, levando à escassez de água que provoca a redução da produção agropecuária, a desorganização do sistema produtivo e a diminuição dos meios de produção acumulados à custa de grandes sacrifícios. Dentro desse cenário, impactos ambientais causados pela mineração,

principalmente relacionados a mananciais aquáticos, podem levar a resultados catastróficos.

A atividade de mineração de urânio, especificamente, ocasiona vários problemas ambientais, desde hídricos e biológicos, além de problemas sociais. Relata-se a perda significativa da vegetação nas regiões onde ocorrem a extração do minério, a contaminação do solo e dos rios próximos, que são poluídos geralmente pelo descarte inadequado, além da poluição das áreas hídricas por produtos químicos utilizados para a explosão das minas ou que são utilizados para o processo de extração do urânio. Além disso, o urânio como minério radioativo, pode afetar e ocasionar problemas irreversíveis ao meio e a todos que tiverem contato.

Na Região Geográfica Intermediária de Sobral, especificamente na cidade de Santa Quitéria, há inúmeros depósitos de urânio para serem explorados. Porém, o projeto da Mina de extração ainda é somente especulações que estão sendo avaliadas e estudadas, para que seja analisada a viabilidade de um possível início das atividades

Portanto, este trabalho tem como propósito desenvolver um estudo qualitativo sobre os impactos da atividade mineradora de urânio na região de Santa Quitéria, com foco na contaminação dos recursos hídricos, principalmente as águas subterrâneas, como por exemplo os poços próximos da jazida de urânio. Para isso, será realizado um levantamento documental, fazendo assim um estudo aprofundado dos efeitos resultantes da extração desse mineral em diferentes regiões do mundo. Além disso, será realizado um estudo de caso, em que a qualidade da água será avaliada para verificar se os padrões de potabilidade foram afetados pela atividade recente na região da mina.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar os impactos resultantes da atividade mineradora de urânio aos recursos hídricos da região do município de Santa Quitéria.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão integrativa da literatura e, partir dela, fazer um levantamento dos possíveis efeitos resultantes da mineração de urânio na região;
- Analisar parâmetros físico-químicos da água dos reservatórios próximos da mina para atestar se atende aos padrões de potabilidade, de acordo com a Portaria 5/2017, do Ministério da Saúde.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho é constituído de cinco seções. Esta seção se trata de uma introdução que aborda a problemática relacionada ao tema do estudo, o problema a ser explanado, justificativa e os objetivos esperados.

Na segunda seção, é realizada uma revisão de literatura sobre o tema abordado. Serão apresentados importantes conceitos acerca da extração de urânio e dos padrões de potabilidade da água que serão avaliados neste estudo.

A seção da *Metodologia* consiste na descrição dos procedimentos de coleta de dados para realização da presente pesquisa.

Na seção *Resultados e Discussão*, serão apresentados e discutidos os dados coletados por meio de gráficos e tabelas, demonstrando a relevância com embasamento na literatura.

Por fim, na seção *Conclusão* será realizada uma síntese dos resultados mais relevantes, finalizando os questionamentos apresentados na seção da introdução, direcionando à conclusão final que o estudo chegou e a contribuição para a área de pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Urânio

O Brasil tem a sexta maior reserva de urânio do mundo, com aproximadamente 309.307 toneladas (GREENPEACE, 2008). Além disso, o país é o único a possuir jazidas de urânio associados a fosfato (AIEA, 2007). Após ser retirado e extraído do solo, apresentando uma mistura de vários óxidos, o urânio é submetido a várias etapas de processamento industrial que gera consequentemente um liquor, que é transportado para uma usina de beneficiamento, onde é clarificado e filtrado, tornando-se um sal amarelado, conhecido como concentrado de urânio, que passando por mais processos industriais, torna-se um metal esbranquiçado, maleável e flexível (GREENPEACE, 2008).

O urânio, por ser um elemento que libera partículas radioativas, é muito utilizado por indústrias na geração de energia nuclear e termoelétrica, devido sua capacidade de gerar calor. Sua utilização também é devido ser um minério que não contribui para o aumento do efeito estufa, pois sua produção não é como os combustíveis fósseis. O maior problema é devido o urânio ser um elemento muito radioativo, podendo degradar o ecossistema por completo (KURTTIO *et al*, 2002).

O urânio, por ser um minério radioativo e perigoso para o meio ambiente, deve ser manejado com cautela, seguindo todos os padrões de segurança, para não acarretar danos ao meio ambiente. O manejo correto também é de suma importância para a economia da obra, pois erros recorrentes a implantação ou extração podem trazer prejuízos para o empresário, além de ser um risco para todo o projeto. Programas de monitoramento de controle na extração podem evitar problemas econômicos, sociais e ambientais. A utilização de equipamentos de segurança por parte dos responsáveis e dos operários faz-se necessário, principalmente pelo fato de atividades mineradoras serem consideradas atividades de alto risco, devido a possíveis desmoronamentos e deslizamentos.

O urânio natural é uma matéria química de símbolo U, pouco radioativo (quando em sua forma natural e bruta), sólido, com meia vida, metálico, e que é utilizado como matéria-prima para a fabricação e formação de combustível para as usinas nucleares e de energia, como também para as grandes indústrias bélicas, que produzem armas como o isótopo U235 para confrontos atuais e futuros. Em relação ao urânio natural, ou seja, na sua forma bruta, há preocupações que tangem essa área de estudos, principalmente em relação aos efeitos que esse elemento pode trazer para a saúde humana, sobretudo na parte que tange o crescente aumento das chances de desenvolver algumas possíveis doenças, como câncer, entretanto, essa correlação entre o elemento urânio e algumas doenças que podem a ser desenvolvidas ainda não está bem estudada e comprovada por pesquisadores.

O minério urânio natural dissolvido na água é considerado um metal radioativo como também uma toxina química de alto índice de contaminação. Estudos realizados em animais, como também estudos realizados em algumas pessoas que foram expostas a taxas de radioatividade do urânio, mostrou que esse minério pode causar toxicidade química renal no corpo humano, isso devido suas características químicas (KURTTIO *et al*, 2002). Contudo, estudos mostram que o urânio natural por apresentar propriedades radioativas de índices baixos, não parece ter um perigo evidente de efeitos radiológicos que possam causar um possível câncer no humano (Vicente-Vicente *et al*, 2010).

Em 1780, o farmacêutico Martin Heirinch Klaproth, um dos mais renomados químicos da Alemanha no século XVIII, em seus estudos descobriu que ao acrescentar e adicionar ácido nítrico em um elemento rochoso, este dissolvia e precipitava, dando origem a um composto de cor amarelado quando neutralizado com o hidróxido de sódio. Em seus estudos, notou também que quando aquecia esse composto precipitado com carvão, dava origem a um pó de cor escura. Foi com esses estudos que Klaproth constatou que havia descoberto e dado vida a um novo metal na terra, e o denominou “uran”, que pouco tempo depois passou a ser conhecido como urânio, isso devido a descoberta do planeta Urano que havia acontecido naquela época (NORDBERG, 2007).

Após a descoberta, começaram a ser realizados vários testes para serem feitas novas descobertas, e foi em um desses testes que foi visto que o

metal que Klaproth havia criado era um dos óxidos de urânio. Porém, com todos os estudos e com essa recente descoberta da época, foi somente em 1841 que o professor de Química Analítica, Eugene Peligot, conseguiu isolar por completo a primeira partícula e amostra de urânio metálico, isso por meio do aquecimento do composto de tetracloreto de urânio com o elemento potássio. Durante todo o século XIX, o urânio não era considerado pelos pesquisadores um metal altamente perigoso, pois não havia ainda realizado estudos aprofundados sobre suas propriedades. Foi somente em 1896, que Henri Becquerel, por acaso inseriu uma amostra de urânio em cima de uma gaveta onde tinha um rolo fotográfico, e este foi totalmente degradado e danificado, como se tivesse sido exposto à uma luz forte, e com isso descobriu-se a radioatividade do urânio (NORDBERG, 2007).

2.2 Extração de urânio nas minas

A extração de urânio nas minas inicia-se a partir da retirada de grandes pedaços de rochas que após passarem pelo processo de britagem, ficam com um tamanho reduzido e de fácil manuseio para todo o processo de exportação. Após todo esse processo, o urânio é retirado dessas rochas a partir da adição de uma solução baseada em ácido sulfúrico, que quando entra em contato com a rocha, extrai o urânio. Esse processo de retirada do urânio recebe o nome de lixiviação, e com todo esse processo, resulta um líquido baseado na mistura do ácido sulfúrico com o urânio. Após todas essas etapas, essa solução é tratada com compostos físicos e químicos para que possa se tornar o concentrado de urânio, produto de grande valor no mercado internacional.

A retomada do Programa Nuclear do Brasil é uma tentativa do governo de se tornar uma potência mundial em produtos atômicos, e a extração de urânio na mina de Santa Quitéria está incluída neste plano de governo. Porém, para se tornar uma grande potência, existem preços a pagar e um desses problemas, está nos efeitos devastadores que uma mina de urânio, produto altamente radioativo, pode ocasionar para a população e todo o meio ambiente, principalmente os recursos hídricos. Esses problemas, vistos já em outros acidentes, como o Chernobyl, na Ucrânia, ou o ataque às cidades de

Hiroshima e Nagasaki, no Japão, são irreversíveis para o meio ambiente, colocando em risco a saúde e o ecossistema que vive na região.

Para o processo de extração de urânio, a mina necessitaria de uma barragem de rejeitos, para que fosse armazenado as pilhas de materiais que foram retirados para a escavação e para a extração. Com isso, outros acontecimentos relacionados a barragem de rejeitos, como o rompimento da barragem de Brumadinho e de Mariana, trazem à tona a preocupação com escavações e extração de urânio, pelo fato de um rompimento nessas proporções afetar grande parte da região onde está sendo feita a extração.

Com o conhecimento desses acontecimentos, a população de algumas comunidades da região de Santa Quitéria, juntamente com alguns movimentos sociais, buscam lutar diariamente para que a mina não seja implantada no território habitável por comunidades, pois receiam que a implantação possa trazer preocupações e riscos para a região, além de destruir o modo tradicional de vida de seus moradores, que passariam a não ter um solo rico em nutrientes para sua agricultura familiar, um ar poluído por pequenas partículas de urânio, que poderia afetar a saúde de muitos da região, além de perderem boa parte do seu bem mais precioso, a água. Tudo isso, seria afetado principalmente pela grande concentração de partículas de urânio que estaria contido na região.

Em 2004, com a formação do consórcio chamado Projeto Santa Quitéria (PSQ), pela estatal Indústrias Nucleares do Brasil (INB) e a empresa Galvani Indústria Comércio e Serviços S.A, começou o desejo pela exploração da mina, com o intuito de produzir mais urânio para a exportação e para alimentar projetos como o Angra I e II.

Para utilizarem da mina, as empresas fizeram documentos mostrando que o principal produto explorado seria o fosfato, porém a população da região, não aceitando a farsa, denunciou essa tentativa de burlar a lei, alegando que existe na mesma região uma grande quantidade de urânio, que explorado de forma errada e sem responsabilidade, pode trazer sérios riscos para a região. Com isso, a licença para a extração não foi concedida e os projetos de explorar aquela região de Santa Quitéria ficou somente em papel.

Em um segundo momento, as empresas buscaram novamente burlar a lei com uma nova farsa, a inserção na produção do EIA-RIMA, que é responsável por realizar estudos em regiões e seus possíveis impactos. As empresas apresentaram um relatório alegando que apenas três comunidades da região seriam afetadas pelo projeto e que o PSQ seria uma grande oportunidade para alavancar a economia do Ceará. Contudo, o Grupo TRAMAS/UFC mapeou e mostrou que com a implantação da mina de urânio na região de Santa Quitéria, possivelmente 156 comunidades da região, 3 bacias hidrográficas e pelo menos 60 municípios próximos a Santa Quitéria podem ser afetados pela extração de urânio.

Outro risco apresentado pelo Grupo TRAMAS/UFC, baseia-se na exportação de fertilizantes produzidos na região, pois o projeto planeja utilizar uma tecnologia de extração ainda não aprovada e utilizada em indústrias, para separar o fosfato do urânio. Problemas relacionados a essa separação poderiam afetar outras regiões do Brasil, além de países que são compradores desses produtos.

O projeto, segundo a INB (2019), será responsável pela geração de mil empregos na sua fase de implantação e mil e quinhentos na fase de operação. Porém, essa mina pode trazer riscos à saúde tanto desses trabalhadores como também da população que mora na região, pelo fato do urânio ser um minério altamente radioativo e prejudicial para a saúde humana. O câncer de pulmão ou câncer de tireóide, são doenças que estão relacionadas com minérios radioativos, e principalmente com o urânio, que tem uma concentração elevada de partículas contaminantes.

Segundo MELO (2019), pesquisador do núcleo TRAMAS, da Universidade Federal do Ceará, já há um alto índice de radioatividade no solo da região de Santa Quitéria em que se encontra a jazida, somente devido a presença de urânio. Com a extração desse minério, a contaminação e a dispersão dessa radioatividade tendem a aumentar devido, segundo DIAS (2019), a dinamitação das rochas para a exploração de urânio liberarem pequenas partículas radioativas de urânio no ar, que pela ação dos ventos espalha-se por toda a região, contaminando rios, açudes, vegetações e pessoas que habitam nas proximidades.

Ainda segundo MELO (2019), a extração de urânio que tem previsão de vinte anos no projeto inicial, produziria um grande volume de rejeitos com alto nível radioativo, que seria um risco para o município de Santa Quitéria e cidades próximas, pois o rompimento da barragem de rejeitos, ocasionaria uma catástrofe com proporções maiores que o de Mariana, por conter elementos radioativos. A cidade de Fortaleza, mesmo com uma distância considerada segura, poderia também correr riscos de contaminação, pois o produto final da extração seria levado para o Porto do Mucuripe, local onde seria utilizado para transportar o urânio para a INB.

De acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA (2019), com a implantação da mina de extração que de acordo com o projeto inicial, iria operar durante vinte anos na região, ocasionaria um déficit hídrico. Durante o período chuvoso na região, as águas que correriam para os mananciais poderiam contaminá-los, principalmente pelas atividades relacionadas a pilha de estéril e de fosfogesso, como também pela barragem de rejeitos do minério, pois apresentariam um grande volume de urânio, elemento que contém radioatividade na sua composição.

2.3 Benefícios da exploração de urânio

A cidade ou região que desenvolve esse tipo de atividade de mineração, principalmente de urânio, produto de grande potencial econômico, tende a ter um desenvolvimento considerável em sua infraestrutura, saneamento, economia e outros fatores básicos de uma cidade, isso devido à necessidade de crescimento da cidade, para que possa acompanhar o desenvolvimento econômico devido à mineração. Ademais, fatores negativos também estão aliados a essa prática mineradora e tendem a serem mais alarmantes e prejudiciais que outras atividades econômicas

Vale ressaltar, que esse tipo de atividade é de suma importância para toda a economia brasileira, não privando somente a economia da região. Esse tipo de atividade tem proporções nacionais, pois a maioria dos minérios extraídos são exportados para países mais desenvolvidos, com o intuito de gerar uma maior renda para o país. Contudo, toda a preocupação e defesa do

meio ambiente em detrimento com essas atividades mineradoras são de interesse nacional, que devem ser estudadas e debatidas em âmbito nacional e global, para que seja mais eficiente a luta contra os impactos ambientais que a extração de minério ocasiona.

O setor de mineração tem grande papel social e econômico para o país, principalmente no PIB e na exportação dos produtos. Esse setor é responsável por mais de 3% do PIB brasileiro e ainda mais, é responsável por mais de 15% das exportações do país (BRASIL, 2010). Vale ressaltar que o país apresenta uma grande representatividade na economia mundial em relação a esse setor minerador, configurando-se como uma das potências mundiais nessa atividade.

2.4 Mina de Caetité – Bahia

A mina de Caetité, no estado da Bahia, é atualmente o único local do Brasil em que a extração de urânio está em progresso, porém teve uma redução na exploração devido alguns problemas enfrentados. Na mina de Caetité, como mostrada na Figura 1, ocorre os dois primeiros processos da produção do urânio, que consiste na extração e no beneficiamento do elemento, que passa a se chamar concentrado de urânio. Em toda a sua região, apresenta-se 17 depósitos minerais e todos eles são explorados para a extração de urânio. Há indícios de um aumento de câncer de pulmão na população da região, isso devido a radioatividade do urânio. Com isso, algumas atividades foram interrompidas e estão em análise para retorno.

Figura 1 - Mina de Caetité (Bahia)

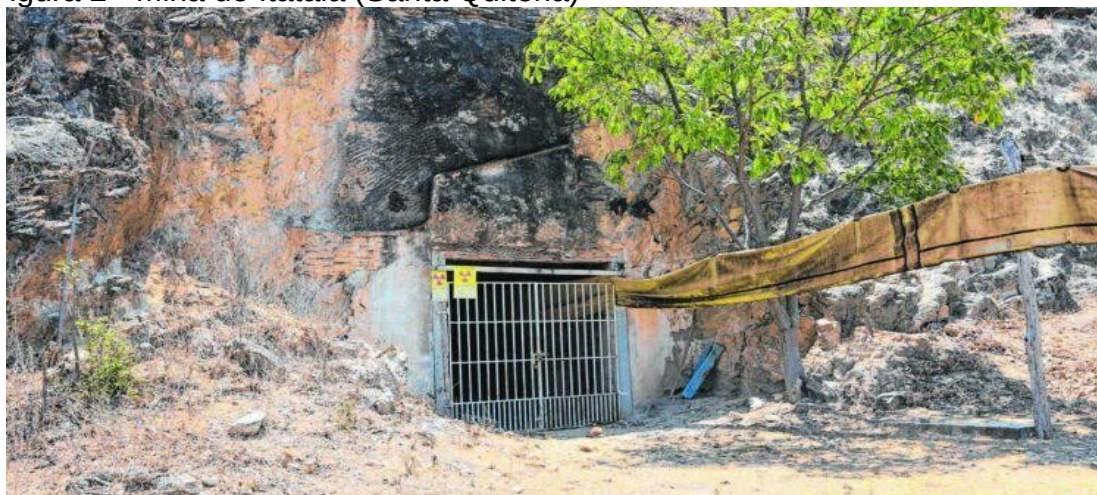


Fonte: BBC (2019).

2.5 Mina de Itataia – Ceará

O depósito de urânio na cidade de Santa Quitéria, estado do Ceará, como mostrado na Figura 2, foi descoberto em meados de 1970, no período compreendido na Guerra Fria (JUNIOR e SOUZA, 2012). Essa descoberta está relacionada à briga que ocorreu entre os EUA e União Soviética, quando os dois países buscavam formas de extrair produtos com poder nuclear, que dessem maior fonte de energia, com o intuito de suprir toda a demanda de seus poderios militares, além de ser um propulsor para colocar um dos países à frente na guerra.

Figura 2 - Mina de Itataia (Santa Quitéria)



Fonte: Diário do Nordeste (2019).

2.6 Potabilidade da água

De acordo com o Artigo 4º, inciso I, do Decreto 5440/2005, água potável é toda água que seja utilizada para o consumo humano e que os parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam as regras e padrões de potabilidade estabelecido pelos órgãos supervisores, além de ser uma água que não deverá apresentar riscos para a saúde humana.

A potabilidade da água é definida a partir de parâmetros estabelecidos pelo Ministério da Saúde, com o intuito de torná-la consumível para o ser humano (BRASIL, 2017). Esses parâmetros, de acordo com a Portaria 5/2017, são definidos pelo Ministério da Saúde, em parceria com a Secretaria de Vigilância em Saúde. A Secretaria de Vigilância em Saúde tem a responsabilidade de realizar e acompanhar o monitoramento desses limites de padrões de potabilidade em âmbito nacional, para que obtenha uma melhor qualidade da água, e esse acompanhamento torna-se mais acessível devido a participação e parceria das Secretarias de Saúde dos Estados e Municípios. Cabe também ao órgão determinar ações e diretrizes da vigilância da qualidade de água para os Estados, Distrito Federal, Municípios e órgãos vinculados, em conformidade com os princípios estabelecidos pelo SUS (BRASIL, 2017).

Em relação a portos, aeroportos e fronteiras terrestres, que apresentam um grande fluxo de pessoas, seja entrando ou saindo do país, cabe à Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), exercer a fiscalização e o controle da qualidade da água para o consumo humano (BRASIL, 2017).

Os Estados e Municípios apresentam responsabilidades parcialmente iguais, respeitando a hierarquia dos governos. Os Estados realizam o monitoramento e o controle da qualidade da água em âmbito estadual, tendo o poder de realizar também a vigilância e controle da qualidade da água nos municípios. Já os municípios, com responsabilidades mais restritas, são responsáveis pela vigilância da qualidade de água da sua região, abrangendo todo o município e comunidades próximas. Vale ressaltar que todos trabalham em parceria para que a água apresente, em seu produto, uma ótima qualidade para o consumo humano. Para que seja bem monitorada, os

estados e municípios têm o papel de repassar todas as informações a respeito de sua região para o Ministério da Saúde, que analisa todos os dados para atestar e confirmar a qualidade da água da determinada região (BRASIL, 2017).

A verificação dos padrões de potabilidade da água deve ser realizada e controlada por um responsável técnico habilitado para essa atividade, sempre seguindo as regras e exigências do Ministério da Saúde e da Secretaria de Saúde e Vigilância da região em que está sendo realizado os testes e a potabilidade da água (BRASIL, 2017).

A água considerada potável deve estar de acordo com todos os padrões microbiológicos, conforme é apresentado no Anexo 1 deste trabalho. Para um melhor controle e verificação da água, quando for provável a presença de coliformes totais na água, apresentando um resultado positivo nas amostras, deve ser realizado medidas de correção sobre essas amostras e deve ser feito uma coleta de novas amostras em dias posteriores, para que sejam realizados novos testes e atestar se após as medidas corretivas, os resultados serão satisfatórios e a água esteja de acordo com os padrões estabelecidos (BRASIL, 2017).

Nos sistemas de distribuição de água, para que tenha um maior percentual de confiabilidade dos testes, é realizado no mínimo uma coleta de novas amostras no ponto onde apresentar resultados positivos para coliformes totais e deve ser realizado mais duas amostras extras, porém uma será a montante e a outra será a jusante do ponto onde foi realizado a coleta. Essa coleta por etapas é um processo que assegura uma maior confiabilidade ao teste devido ser realizado a coleta de inúmeras amostras e em locais distintos do ponto onde apresentou resultado positivo para coliformes totais. Posteriormente, com os resultados coletados de forma mensal, são analisados os percentuais de coliformes totais encontrados nas amostras dos sistemas de distribuição de água, e de acordo com os órgãos controladores, não é tolerado resultados positivos para essa substância na coleta das amostras, isso devido a água já ter passado por medidas que irão corrigir e reduzir esses índices de coliformes totais (BRASIL, 2017).

Quando os resultados dos testes não estiverem em conformidade com os padrões microbiológicos estabelecido no Anexo 1, os responsáveis

pelos sistemas de abastecimento e distribuição de água, como também os responsáveis pela regulação desses padrões devem informar à autoridade de saúde pública da região sobre as medidas tomadas para a reparação dos erros encontrados, buscando seguir os limites estabelecidos pelos órgãos de saúde e afins. Outro erro que pode ocorrer é a má interpretação dos dados coletados nos ensaios de verificação dos índices de coliformes totais e *Escherichia coli*, devendo ser realizado outra coleta para que seja feito uma nova verificação dos limites e padrões das amostras de água (BRASIL, 2017).

Nos estudos e testes realizados, um dos parâmetros utilizados para julgar a integridade e a qualidade do sistema de distribuição de água, ou seja, os reservatórios e a rede utilizada para distribuir a água, é a determinação da presença de bactérias heterotróficas nas amostras de água coletadas. Essa determinação e contagem das bactérias heterotróficas, deve ser realizada em pelo menos 20% (vinte por cento) das amostras coletadas para a verificação da presença de coliformes totais no sistema de distribuição. Nessa etapa de contagem das bactérias heterotróficas, quando é atestado grandes alterações, que diferem os valores normais, deve ser realizada uma investigação em todo o sistema de distribuição para que seja identificado o erro, com o intuito de repará-lo, para que seja mantido a boa qualidade do sistema. Recomenda-se o limite de 500 UFC/mL para a quantidade de bactérias nas amostras coletadas (BRASIL, 2017).

É recomendado a inclusão de monitoramento de vírus entéricos, principalmente nos pontos de captação de água que são oriundos de mananciais superficiais de abastecimento, com o intuito de realizar estudos e uma avaliação mais aprofundada dos riscos microbiológicos que podem conter na água.

Para alcançar uma melhor qualidade microbiológica da água, deve ser atendido todos os padrões de turbidez apresentados no Anexo 2, complementando as exigências estabelecidas pelos padrões e indicadores microbiológicos. O limite máximo determinado para qualquer amostra coletada de água subterrânea com desinfecção, deve ser de 5,0 uT, devendo ser mantido simultaneamente o VMP de 5,0 uT em todo o sistema de distribuição. A verificação dos percentuais de limite de turbidez deve ser realizada pelo menos uma vez ao dia para desinfecção ou filtração lenta e no mínimo a cada

duas horas para filtração rápida, buscando atingir valores mais confiáveis e mais assertivos. Esses sistemas de abastecimento e distribuição de água que utilizam mananciais superficiais, devem realizar esse monitoramento de *Escherichia coli* nos pontos de captação da água de forma diária e mensal, apresentando relatórios periódicos (BRASIL, 2017).

Com base nos estudos realizados, quando for identificado valores anuais maiores ou iguais a 1000 *Escherichia coli*/100 mL, deve-se realizar o controle de cistos de *Giardia* spp. e oocistos de *Cryptosporidium* spp. no ponto de captação e distribuição da água. Outro fator que deve ser verificado é a concentração de oocistos de *Cryptosporidium* spp. na água, que na análise, quando atestado um valor maior ou igual a 3,0 oocistos/L nos pontos verificados, recomenda-se a obtenção de efluentes em filtração rápida com valor de turbidez menor ou igual a 0,3 uT em pelo menos 95% de todas as amostras mensais coletadas ou utilizar um processo de desinfecção que seja eficiente na mesma proporção que a remoção de oocistos. Para o cálculo da concentração de oocistos *Cryptosporidium* na água, deve ser coletado 24 amostras durante um ano, para que possa ser feito um cálculo e uma análise mais precisa e detalhada (BRASIL, 2017).

O processo de desinfecção por meio da cloração, cloraminação ou aplicação de dióxido de cloro, quando realizados, devem ser analisados os tempos de contato e os valores de concentrações na saída do tanque de contato. No caso da desinfecção com a aplicação de ozônio, deve ser observado um CT (concentração e tempo de contato) mínimo de 0,16 mg.min/L para uma temperatura média da água igual a 15° C. Já no caso da desinfecção por radiação ultravioleta, deve ser analisada e observada uma quantidade mínima de 1,5 mJ/cm² para 0,5 log de inativação de cisto de *Giardia* spp. (BRASIL, 2017)

É obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado com 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição da água (BRASIL, 2017).

A água potável analisada deve estar em conformidade com o padrão de substâncias químicas que representam risco à saúde e cianotoxinas, devendo preferencialmente estar abaixo dos valores limites. No caso de adição

de flúor (fluoretação) na água para proferir uma melhor qualidade, os valores recomendados para concentração de íon fluoreto devem observar a Portaria nº 635/GM/MS de 26 de dezembro de 1975, não podendo ultrapassar o VMP recomendado. Quando for detectada na análise das amostras de água, a presença de gêneros potencialmente produtores de cilindrospermopsinas no monitoramento de cianobactérias, recomenda-se a análise dessas cianotoxinas, observando o valor máximo aceitável de 1,0 µg/L (BRASIL, 2017).

Para um nível de potabilidade confiável para o consumo humano e que atenda às recomendações dos órgãos reguladores, deve cumprir e não exceder o valor de 0,5 Bq/L para atividade alfa total e 1Bq/L para beta total. Seguindo esses padrões, essa água potável estará em conformidade com os índices estabelecidos. Recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5. Recomenda-se que o teor máximo de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento seja de 2 mg/L. Também, em relação às concentrações nas amostras de água, deve-se manter valores de 2,4 e 0,4 mg/L para o ferro e manganês, respectivamente (BRASIL, 2017).

2.7 Impactos ambientais

O impacto ambiental consiste em qualquer modificação das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, isso causado por qualquer matéria ou esforço resultante de atividades do ser humano (SOUSA, 2006).

Torna-se crescente a preocupação com os impactos ambientais que a mineração e outras atividades de extração estão ocasionando para o meio ambiente, principalmente para os recursos hídricos (OLIVEIRA, 2001). Esse tipo de atividade mineradora, principalmente em regiões onde apresenta-se períodos longos de seca e precipitações amenas, torna-se um dos responsáveis pela falta de água e poluição dela, devido a grande quantidade utilizada para a realização da exploração do minério. A extração de urânio necessita de uma grande quantidade de água para todas as suas etapas,

desde a extração até a produção e enriquecimento, sendo responsável por um consumo elevado deste recurso hídrico (SILVA, 2015).

É bem provável indagar e sugerir que as minas de extração, beneficiamento e enriquecimento de urânio como a de Caetité, onde a exploração de urânio é realizada a céu aberto, podem estar sujeitas a transbordamento e vazamentos nas áreas próximas da mina ou até em sua própria propriedade, ocasionando dispersão de resíduos do minério nessas áreas, acarretando a contaminação e grandes estragos no solo e na água da região, afetando conseqüentemente, a saúde de toda a população e de animais da região que utilizam desse solo e dessa água para consumo e subsistência.

O estudo ambiental para além de uma análise ecológica pode influenciar no âmbito econômico, social e cultural, tendo desta forma uma abrangência significativa para a organização do espaço geográfico (SANCHES, 2008). Esse cenário apresentado por Sanches (2008) pode sofrer alterações que por irresponsabilidade ou erros humanos, podem resultar na degradação do meio. É com esse pensamento que estudos de avaliação dos impactos ambientais devem ser feitos periodicamente, com o intuito de reduzir a destruição do meio ambiente, principalmente dos nossos recursos hídricos.

2.7.1 Impactos ambientais para os recursos hídricos

As águas subterrâneas têm um importante papel na condição hídrica de uma região, pelo fato de ter a condição de reserva hídrica para gerações futuras (OLIVEIRA, 2001). Essa água subterrânea é de suma importância para o abastecimento de água em regiões mais escassas, principalmente no sertão nordestino, onde a utilização de poços profundos é um meio de salvação para a falta de água em alguns períodos de seca e estiagem. Porém, a extração de minérios de urânio tem bastante impacto nesse tipo de água encontrada nos lençóis freáticos, devido à radioatividade que essa substância apresenta e que em grande concentração, torna irreversível a contaminação desse recurso hídrico.

Em relação aos recursos hídricos, é notório que a extração de urânio pode ocasionar sérios problemas para cursos d'água e reservatórios, tanto da região onde está instalada a mina, como também de regiões vizinhas.

Problemas como contaminação dos leitos dos rios e açudes; contaminação dos lençóis freáticos, ocasionando conseqüentemente a contaminação de poços profundos (equipamento de grande valia para o consumo de água pela população rural).

As necessidades humanas (de higiene, consumo e profissional) são atendidas principalmente por fontes de água superficiais (rios, lagos, entre outros), como também por fontes de água subterrâneas (aquíferos subterrâneos). No planeta terra, cerca de 97% da água doce que é de utilização para o ser humano, está no subsolo (MANOEL FILHO, 1997). Essa água doce é utilizada para o consumo e para higiene, porém algumas empresas utilizam essa água para atividades agrícolas, industriais e mineradoras, colocando em risco o esgotamento desse recurso importante para a sobrevivência do ser humano.

Há estudos recentes que mostram possíveis focos de contaminação em águas subterrâneas oriundos do elemento químico - urânio, principalmente de fontes naturais (urânio natural), como também de fontes industriais (urânio já processado e enriquecido). Paralelo a isso, é visível uma taxa crescente de exposição da água potável ao urânio, fato esse que se dá principalmente pelo fato do aumento na necessidade de utilização das águas subterrâneas pela população como fonte de água para consumo. Essa grande parte da população que utiliza desse meio para consumo, são famílias que residem em locais com poucas fontes de água, como rios secos ou congelados ou em locais onde a precipitação é baixa e há pouca pluviosidade. Com isso, ficam sujeitas a utilizar essas fontes de água subterrânea para o consumo e plantio, expondo-se a um maior risco de contaminação pelo urânio (ATSDR, 2011).

O consumo de urânio natural presente na água e o seu índice de radiação depende muito da fonte onde o minério está sendo extraído, como também onde a água está sendo retirada. As concentrações de urânio tendem a ser menores na parte mais superficial do solo, comparado às águas profundas, isso devido a água armazenada em fontes subterrâneas ter que passar primeiramente por um processo de lixiviação do solo (mais conhecido como lavagem do solo), seguido posteriormente de um processo demorado de deposição do urânio, que o torna um minério ainda mais concentrado. Todo esse processo ocorre somente nas águas subterrâneas, não sendo um

processo que pode ocorrer nas águas superficiais. Os fatores que auxiliam nessa movimentação da água são as concentrações de urânio natural no solo, potencial de oxidação-redução, pH da água e também a natureza e as propriedades dos materiais e elementos químicos associados à água. De acordo com a EPA (Agência de Proteção Ambiental), as águas superficiais não ultrapassam o valor de 30 mg U/L, ao contrário das águas subterrâneas que esses valores ultrapassam o normal e são superiores até na forma natural da água (Hakonson-Hayes *et al*, 2002).

Alguns estudos e evidências apontam que há comunidades existentes próximas às minas de urânio que podem sofrer uma grande exposição e até sofrerem maiores efeitos por causa do urânio. Em 2008, o grupo Greenpeace recolheu em campo algumas amostras de água subterrânea de poços artesianos nas cidades de Caetité e Lagoa Real, as duas situadas mais ao sudoeste da Bahia, e essas amostras foram coletadas num raio de 20 km de área da mina instalada para exploração de urânio no território. Após testes e estudos, os resultados coletados e interpretados apontaram que de todas as amostras, pelo menos duas delas que eram utilizadas para a ingestão humana, apresentaram uma água contaminada e com taxas de contaminação acima dos normais para a Organização Mundial de Saúde (OMS) e para a legislação brasileira do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama), que é de 0,02 mg U/L ou cerca de 20 ppb (GREENPEACE, 2008).

Nos estudos realizados pelo Greenpeace (2008) na mesma região da mina de Caetité e Lagoa Real, foi realizado a coleta de uma amostra de água em um poço artesiano a uma distância de 8 (oito) quilômetros da mina e na análise da água, foi atestado a presença de uma alta concentração de urânio, quase 7 (sete) vezes maior que o limite máximo indicado pela OMS e 5 (cinco) vezes maior que o limite máximo indicado pelo Conama. Uma outra amostra que foi coletada neste estudo foi de uma torneira que é utilizada para bombear água de um poço artesiano até a mina, para utilização nas etapas de execução da extração. Nessa torneira, foi encontrada uma concentração de urânio 2 (duas) vezes maior que o limite máximo estabelecido pela OMS e muito acima do valor estabelecido pelo Conama.

Em 2010, o Ingá (Instituto de Gestão das Águas e Clima), estudou alguns poços artesianos na área da mina de Caetité, e nesses estudos

identificou, dentre várias amostras, cinco que ultrapassaram os limites recomendados pela OMS/2004 para o consumo humano, sendo que três dessas amostras atestaram valores superiores a 0,2 mSv/ano. Contudo, a legislação brasileira ainda não apresenta estudos e definições quanto aos limites máximos para determinação de uma qualidade de água baseada nas radiações naturais, portanto é utilizada para fins de estudos e análises as regras internacionais estabelecidas pela Organização Mundial de Saúde - OMS (Recomendações para a qualidade da água potável, 30 edição, 2004, que prevê o limite de dose efetiva de 0,1 milésimos de Sievert por ano (mSv/ano) para água utilizada para consumo humano (INGÁ, 2010).

2.7.2 Impactos Ambientais para o Solo

No solo, problemas durante todas as etapas da extração de urânio podem ser visíveis. A erosão, ocasionada principalmente pela explosão de áreas para a exploração, é um fator de degradação do solo da região. Outro problema recorrente é a contaminação do solo pela radioatividade do urânio, tornando inviável o plantio de qualquer vegetação, devido a falta de nutrientes, bem como sua utilização para outras atividades.

2.8 Impactos para o ser humano

Desde o início do século XX, atividades humanas (como por exemplo, as minas de urânio), tem aumentado significativamente a taxa de exposição do ser humano ao urânio, e isso contribui conseqüentemente para a degradação periódica e lenta do meio ambiente e seus recursos, decorrente basicamente da utilização de produtos químicos e produtos radioativos produzidos pelo minério urânio. Essa exposição ao urânio natural, que é um minério químico e radioativo, pode ser considerado o propulsor no aumento dos riscos de contaminação dos lençóis freáticos em regiões onde a atividade antrópica se desenvolve (ATSDR, 2011). Estas situações, sejam pela escassez de água que as pessoas vivenciam e que as induzem ao consumo de águas contaminadas de poços profundos e açudes, ou pela contaminação ambiental que acontece devido a extração do urânio pelo ser humano, são agentes que

contribuem para o aumento da probabilidade de exposição do ser humano as propriedades químicas e radioativas do urânio, podendo ocasionar e impulsionar efeitos irreversíveis na saúde humana.

Os efeitos tóxicos do urânio na sua forma bruta e natural dependem muito da proporção absorvida e a velocidade de propagação através do epitélio de proteção do corpo. Se a absorção do minério for maciça, a quantidade de sangue no corpo irá exercer maior influência e o urânio irá se comportar como um tóxico químico agudo. Entretanto, se a absorção for lenta, o urânio irá permanecer no tecido epitelial por um longo período e os seus efeitos tóxicos irão se manifestar no local por um grande período, se comportando como um tóxico radioativo. Sendo assim, no corpo humano, o urânio poderá se comportar e reagir tanto com sua toxicidade química como também com sua toxicidade radiativa; uma ou outra irá depender também de um outro fator, a solubilidade do minério no corpo humano (Li *et al*, 2005).

Como o minério de urânio se locomove pelos rins, quando entra em contato com esse órgão, seus efeitos toxicológicos para esse órgão é a nefrotoxicidade. No rim, a toxicidade do urânio que fica retido no corpo depende muito da concentração desse minério. O urânio em grande quantidade pode ocasionar necrose no túbulo proximal do corpo humano, entretanto, quando em pequenas quantidades e não letais, esse dano no túbulo é ameno e o órgão pode ser regenerado, com subsequente tolerância a quantidades maiores de urânio. Não é somente os rins que o urânio ataca no corpo humano e exerce sua toxicidade química, os ossos também são considerados um alvo para ataques do urânio, porém somente a exposição a longo prazo, pois os ossos apresentam uma afinidade com o urânio, que quando no corpo humano, os ossos retêm e prolongam a exposição por um grande período, liberando no corpo durante sua remodelagem, fazendo com que tenha urânio no corpo durante um certo período de tempo (PRADO, 22007).

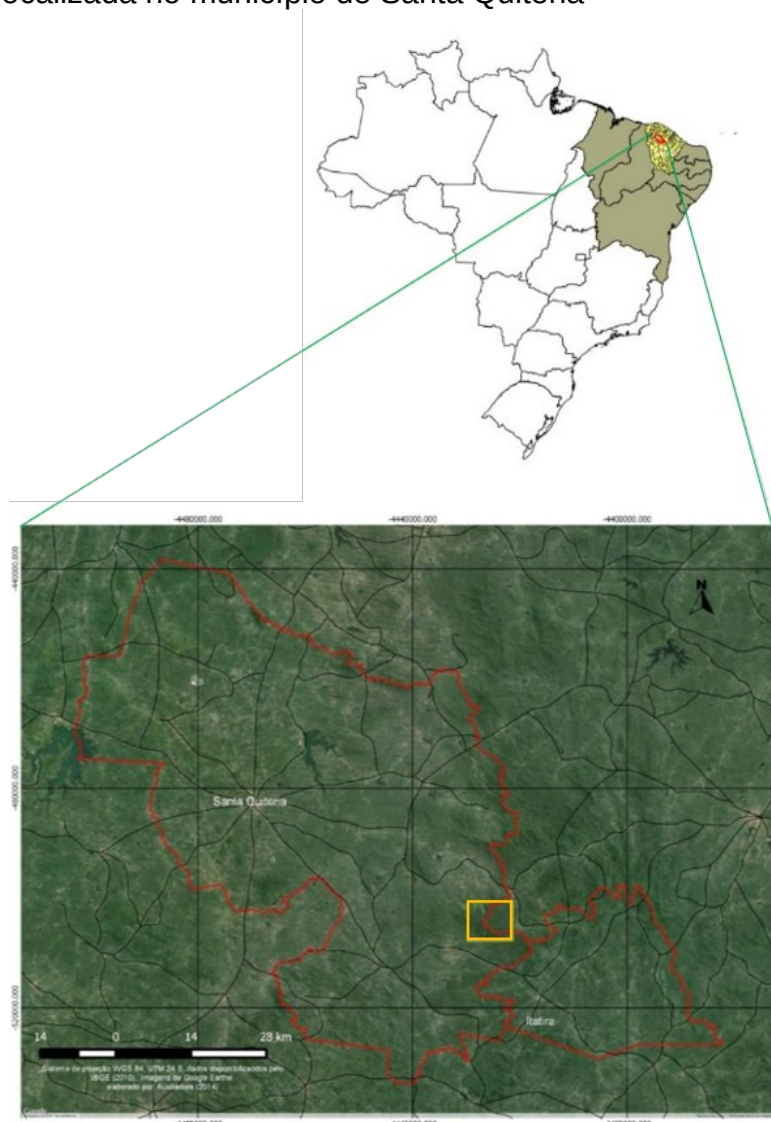
Vale ressaltar, não há ainda estudos assertivos ou informações de pesquisadores que mostram a relação entre danos renais no ser humano, devido à ingestão de urânio. Contudo, há evidências e estudos preliminares que atestam e mostram que a exposição ao urânio durante um longo período, pode acarretar a redução da função reabsortiva tubular renal, isso devido aos

efeitos químicos que o urânio pode fazer sobre os rins e o corpo humano (ATSDR, 2011).

3 METODOLOGIA

O presente estudo é ambientado no município de Santa Quitéria, localizado na região intermediária de Sobral, na porção noroeste do estado do Ceará, onde se encontra a Mina de Itataia (Figura 3). O município de Santa Quitéria apresenta um clima Tropical Quente Semiárido, com temperaturas médias entre 26° e 28°, além de apresentar um período chuvoso reduzido, compreendido entre os meses de fevereiro e abril (IPECE, 2018).

Figura 3 - Localização da mina de extração de urânio localizada no município de Santa Quitéria



Fonte: adaptado de Medeiros e Dinis (2015).

Quanto à tipologia, a pesquisa é classificada como de natureza aplicada e está dividida em três etapas principais.

A primeira etapa do estudo, quanto aos fins, é classificada como descritiva e exploratória; e, quanto aos procedimentos, se trata de um levantamento documental, “cujo método permite a síntese de vários estudos já publicados, pautados nos achados apresentados pelas pesquisas, resultando em uma análise ampliada e visualização de lacunas existentes” (ANDRADE *et al.*, 2017, p. 2). A coleta de dados se baseia no levantamento de artigos científicos e capítulos de livro publicados nos últimos cinco anos em periódicos encontrados nas bases de dados *Scielo* e *Science Direct*. Por meio do uso de descritores relacionados ao objeto de estudo e da aplicação de critérios de exclusão e inclusão adequados, serão selecionados os estudos mais relevantes para o desenvolvimento desta pesquisa. Além disso, o estudo tem abordagem qualitativa, pois permite o aprofundamento da compreensão acerca do objeto de estudo no contexto em que ocorre e do qual é parte, devendo ser analisada numa perspectiva integrada.

Patias e Hohendorff (2019) descrevem a pesquisa qualitativa como um método em que a realidade é múltipla e subjetiva, que considera as experiências dos indivíduos e suas percepções como aspectos úteis e importantes para a pesquisa. Nesse tipo de abordagem, a realidade é construída em conjunto entre pesquisador e o objeto de estudo por meio das experiências individuais. Diante disso, os autores afirmam que, para os pesquisadores em métodos qualitativos de análise de dados, não há neutralidade e que estão no processo da pesquisa, influenciando e sendo influenciados pelo que está sendo pesquisado. Por fim, o raciocínio ou a lógica da pesquisa qualitativa é a indutiva, partindo do específico para o geral. Não se parte de uma teoria específica, mas ela é produzida a partir das percepções dos sujeitos que participam da pesquisa.

Sousa e colaboradores (2010) descrevem a revisão integrativa como a mais ampla abordagem metodológica referente às revisões, permitindo a inclusão de estudos experimentais e não-experimentais para uma compreensão completa do fenômeno analisado. Combina também dados da literatura teórica e empírica, além de incorporar um vasto leque de propósitos:

definição de conceitos, revisão de teorias e evidências, e análise de problemas metodológicos de um tópico particular. A ampla amostra, em conjunto com a multiplicidade de propostas, deve gerar um panorama consistente e compreensível de conceitos complexos, teorias ou problemas relevantes para a área.

A segunda etapa deste trabalho consiste em um estudo de caso, que se caracteriza como um tipo de pesquisa exploratória de abordagem qualitativa, cujo objeto é uma unidade que se analisa profundamente. Visa ao exame detalhado de um ambiente, de um simples sujeito ou de uma situação em particular (GODOY, 1995). Andrade e colaboradores descrevem o estudo de caso como uma estratégia de pesquisa estruturada e empírica,

Além disso, será realizado o mapeamento e a avaliação do comportamento hidrodinâmico dos reservatórios de água localizados na região próxima à mina de urânio no município de Santa Quitéria. Esses dados serão coletados por meio de uma análise documental.

Por fim, na terceira etapa, serão realizadas coletas de amostras de água em reservatórios subterrâneos próximos da região nos quais já houve atividade mineradora. Os procedimentos experimentais que avaliarão a qualidade das amostras serão executados no laboratório de Química da UFC, em conformidade com a Norma vigente de potabilidade da água de abastecimento, a Portaria nº 2.914 (BRASIL, 2011), de dezembro de 2011.

Portanto, para essa terceira etapa, será realizada a caracterização da área de estudo, determinando os pontos de coletas e amostragem e análise em laboratório dos parâmetros físico-químicos de potabilidade da água. Os parâmetros físico-químicos que serão avaliados: temperatura, pH, condutividade elétrica, teor de nitratos, sulfatos e ferro, turbidez e sólidos totais dissolvidos.

De acordo com a Metodologia do trabalho, a terceira etapa, baseia-se na coleta de dados em regiões próximas à Mina de Itataia na Santa Quitéria. Nessa etapa, foi realizada a coleta de amostras de águas em três pontos próximos à mina. De acordo com a definição dos estudos, será feita a análise de água subterrânea, e com isso, foi realizada a coleta de amostras em três poços profundos.

Tabela de Localização das Amostras Coletadas

Comunidade	Município	Tipo de Água	Característica	Coordenada	Coordenada
Riacho das Pedras	Santa Quitéria	Subterrânea	Poço Profundo	24 M 0416856	UTM 9487251
Morrinhos	Santa Quitéria	Subterrânea	Poço Profundo	24 M 0408571	UTM 9495126
Queimadas	Santa Quitéria	Subterrânea	Poço Profundo	24 M 0409180	UTM 9494279

A primeira amostra de água foi coletada no poço profundo na cidade de Santa Quitéria, especificamente na comunidade de Riacho das Pedras, cujas coordenadas são 24 M 0416856; UTM 9487251. A segunda amostra de água foi coletada no poço profundo na cidade de Santa Quitéria, especificamente na comunidade de Morrinhos, cujas coordenadas são 24 M 0408571; UTM 9495126. A terceira amostra de água foi coletada no poço profundo na cidade de Santa Quitéria, especificamente na comunidade de Queimadas, cujas coordenadas são 24 M 0409180; UTM 9494279.

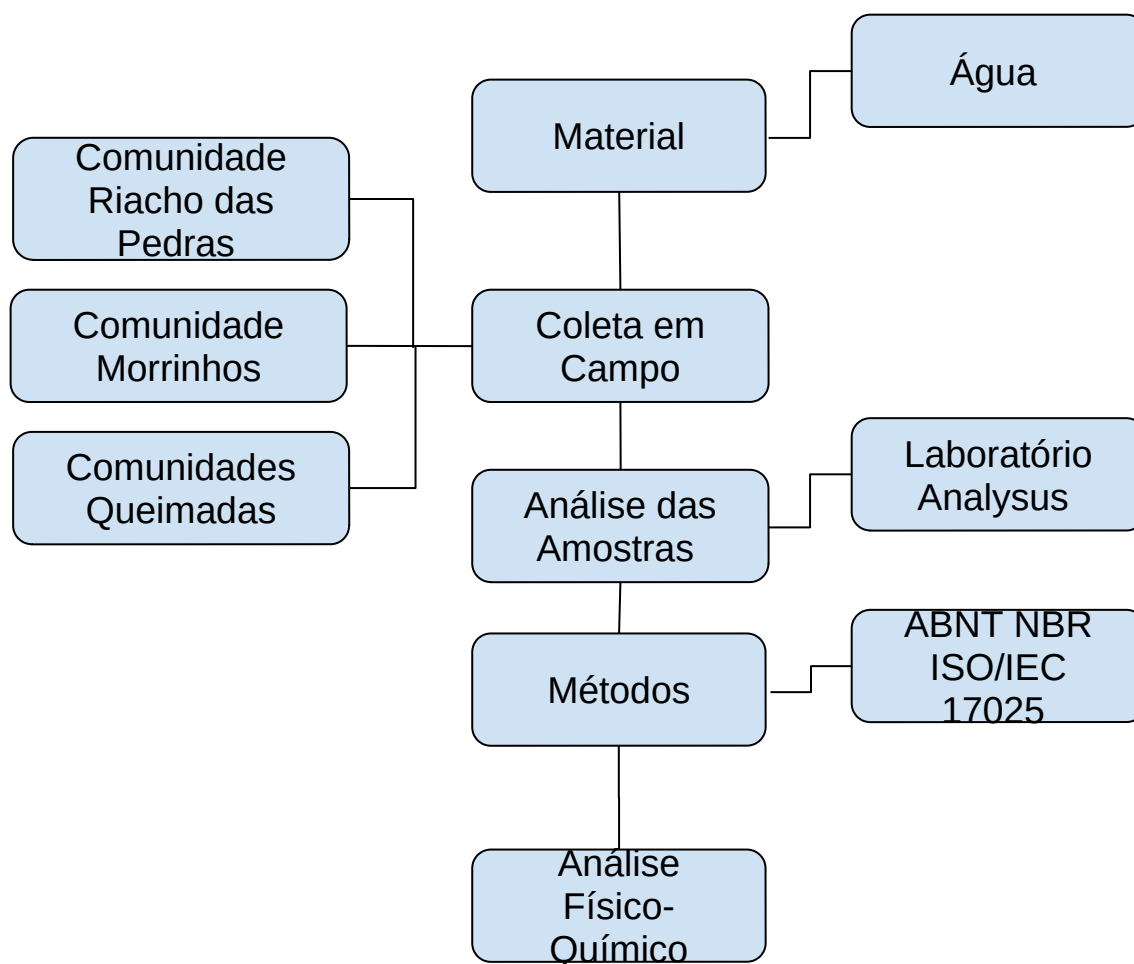
Vale ressaltar, que a Mina de Itataia é localizada entre os municípios de Santa Quitéria e Itatira, porém realizou-se a coleta de dados somente no município de Santa Quitéria, pelo fato de maior parte da mina estar em uma área compreendida neste município, atestando uma maior incidência de urânio.

A coleta de dados foi realizada pelo próprio aluno, porém com orientação dos técnicos do laboratório H₂O Analysis, que explicaram como deveria ser feita a coleta de forma correta dessas amostras de água. As amostras de água foram encaminhadas para o laboratório da H₂O Analysis, para que possam ser analisados os parâmetros físico-químicos e microbiológicos das amostras, de acordo com os definidos no trabalho e que atenderão a necessidade do estudo, buscando apresentar resultados eficazes.

Após ser feita a análise completa das amostras pelo laboratório, será realizada a interpretação dos resultados, baseado em comparativos com os parâmetros estabelecidos pela Portaria 5/2017, do Ministério da Saúde, que estabelece valores ideais para a potabilidade da água. Vale ressaltar que será realizado também o comparativo dos resultados obtidos, com resultados de

outros trabalhos acadêmicos voltados para o tema, a fim de determinar uma melhor eficácia na análise e conclusão dos dados coletados e pesquisados.

Figura 4 - Fluxograma da Metodologia Adotada



Fonte: Próprio Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção do trabalho apresenta os resultados de potabilidade obtidos para as amostras de água coletadas, seguindo as orientações de coleta e análise das amostras. Os valores determinados em laboratório foram analisados em conformidade com os padrões e parâmetros de potabilidade da água, estabelecidos pela Portaria 5/2017, do Ministério da Saúde.

4.1 Caracterização das Amostras

Para a caracterização físico-química das amostras de água, o Laboratório utilizou os métodos de ensaios de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025.

4.1.1 ABNT NBR ISO/IEC 17025

A ABNT NBR ISO/IEC 17025 é um documento que caracteriza os procedimentos ou normas utilizadas para realizar ensaios voltados para água, de maneiras variadas (bruta, tratada, entre outros), além de determinar procedimentos utilizados para outros produtos.

Neste trabalho, foram utilizados procedimentos como o Método 2320B que determina a alcalinidade (e suas frações) pelo método titulométrico. Outro procedimento utilizado foi o Método 4500-NO₃-D que determina a quantidade de nitrato pelo método do eletrodo nitrato-seletivo, entre outros procedimentos para classificar e determinar os índices atestados.

4.2 Valores de resultados e análise

4.2.1 Comunidade de Morrinhos

De acordo com os métodos utilizados para realização dos estudos e testes, o laboratório obteve os resultados contidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da Comunidade de Morrinhos - Santa Quitéria

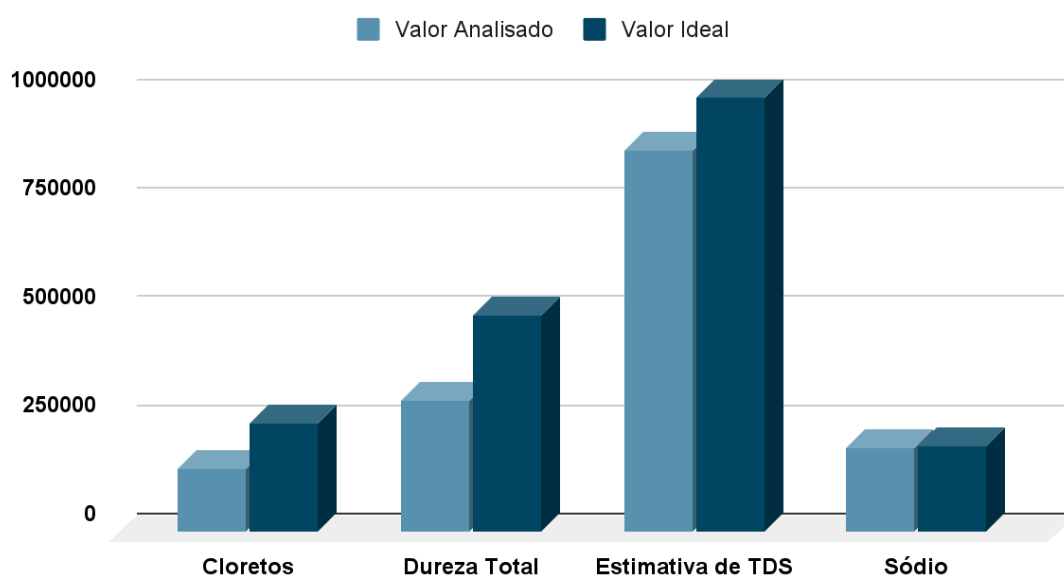
Parâmetros Avaliados	Unidade	Resultados	Valores de acordo com a PRC nº 5/2017
pH à 25 °C	mg/L	7,60	-
Alcalinidade Parcial	mg/L	< 10,00	N.A
Alcalinidade Total	mg/L	290,00	N.A
Amônia (NH ₃)	mg/L	< 0,30	até 1,50
Bicarbonatos	mg/L	290,00	N.A
Cálcio	mg/L	59,601	N.A
Carbonatos	mg/L	< 2,00	N.A
Cloretos	mg/L	144,907	até 250,00
Condutividade	uS/cm	1.172,00	N.A
Cor Aparente	uH (mg Pt-Co/L)	< 10,00	até 15,00
Determinação de Aspecto	-	Límpido	N.A
Dureza Total	mg/L	301,811	até 500,00
Estimativa de TDS	mg/L	879,00	até 1.000,00
Ferro	mg/L	< 0,10	até 0,30
Hidróxido	mg/L	< 2,00	N.A
Magnésio	mg/L	37,176	N.A
Nitratos	mg/L NO ₃ -N	2,269	até 10,00
Nitritos	mg/L NO ₂ -N	< 0,05	até 1,00
Potássio	mg/L	6,00	N.A
Sódio	mg/L	195,00	até 200,00
Sulfato	mg/L	64,12	até 250,00
Turbidez	NTU	0,18	até 5,00

Fonte: autor.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se atestar que os valores estão em conformidades com os parâmetros da Portaria 05/2017, do Ministério da Saúde, voltado para a determinação de Potabilidade da Água, porém vale ressaltar que após análise dos dados, foi atestado que os valores de Cloretos, Dureza Total, os TDS e o valor da quantidade de Ferro e Sódio estão próximos do valor ideal, de acordo com a Portaria, como mostra no Gráfico 1, mostrando que essa região pode ter locais que apresentam uma maior incidência de urânio, que pode ocasionar a contaminação desta água. Além disso, deve-se levar em consideração também o período de exposição da amostra de água ao material urânio, que pode levar a contaminação da água subterrânea desta comunidade em períodos futuros.

Gráfico 1 - Comunidade de Morrinhos

Comunidade de Morrinhos



Fonte: Próprio Autor

4.2.2 Comunidade de Riacho das Pedras

De acordo com os métodos utilizados para realização dos estudos e testes, o laboratório obteve os resultados contidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados da Comunidade de Riacho das Pedras - Santa Quitéria

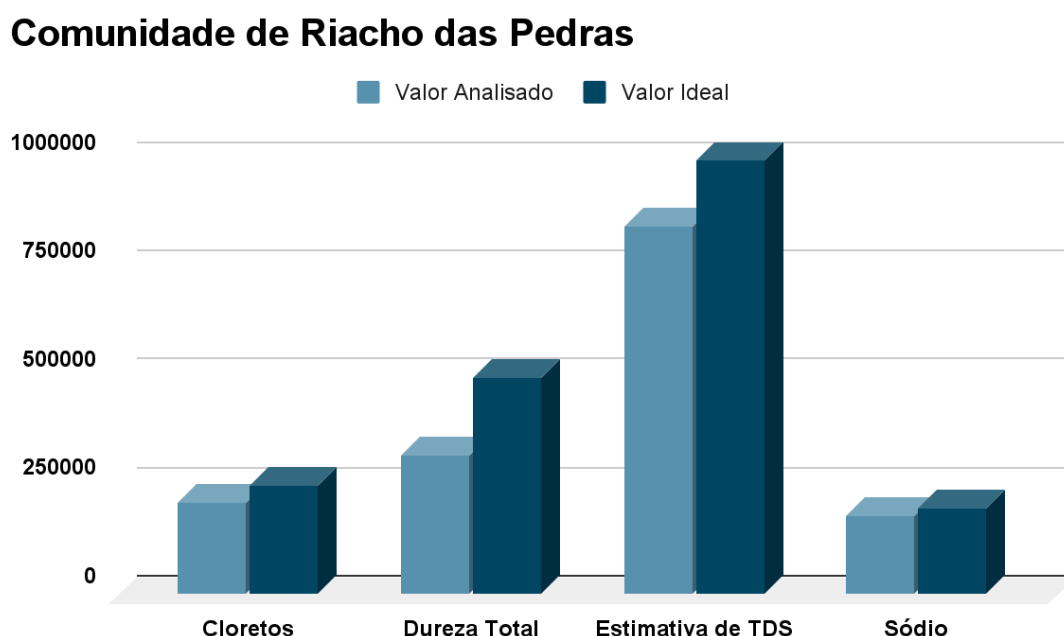
Parâmetros Avaliados	Unidade	Resultados	Valores de acordo com a PRC nº 5/2017
pH à 25 °C	mg/L	6,92	—
Alcalinidade Parcial	mg/L	< 10,00	N.A
Alcalinidade Total	mg/L	430,00	N.A
Amônia (NH ₃)	mg/L	< 0,30	até 1,500
Bicarbonatos	mg/L	430,00	N.A
Cálcio	mg/L	84,387	N.A
Carbonatos	mg/L	< 2,00	N.A
Cloretos	mg/L	212,924	até 250,000
Condutividade	uS/cm	1.130,00	N.A
Cor Aparente	uH (mg Pt-Co/L)	< 10,00	até 15,00
Determinação de Aspecto	—	Límpido	N.A
Dureza Total	mg/L	319,423	até 500,00
Estimativa de TDS	mg/L	847,50	até 1.000,00
Ferro	mg/L	< 0,10	até 0,30
Hidróxido	mg/L	< 2,00	N.A
Magnésio	mg/L	26,416	N.A
Nitratos	mg/L NO ₃ -N	0,683	até 10,00
Nitritos	mg/L NO ₂ -N	< 0,05	até 1,00
Potássio	mg/L	5,70	N.A
Sódio	mg/L	179,00	até 200,00
Sulfato	mg/L	21,50	até 250,00
Turbidez	NTU	0,41	até 5,00

Fonte: autor.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se atestar que os valores estão em conformidades com os parâmetros da Portaria 05/2017, do Ministério da Saúde, voltado para a determinação de Potabilidade da Água,

porém vale ressaltar que nesse caso da comunidade de Riacho das Pedras, assim como na comunidade de Morrinhos, após análise dos dados, foi atestado que os valores de Cloretos, Dureza Total, os TDS e o valor da quantidade de Sódio estão próximos do valor ideal, de acordo com a Portaria, como mostra no Gráfico 2, mostrando que essa região pode ter locais que apresentam uma maior incidência de urânio, que pode ocasionar a contaminação desta água. Além disso, deve-se nesse caso, também levar em consideração o período de exposição da amostra de água ao material urânio, que pode levar a contaminação da água subterrânea desta comunidade em períodos futuros.

Gráfico 2 - Comunidade de Riacho das Pedras



Fonte: Próprio Autor

Vale ressaltar, esse poço profundo, como mostrado na Figura 5, é o meio de abastecimento dessa Comunidade, tornando-se uma fonte de grande utilidade para aquela região.

Figura 5 - Poço Profundo da Comunidade de Riacho das Pedras



Fonte: Próprio Autor.

4.2.3 Comunidade de Queimadas

De acordo com os métodos utilizados para realização dos estudos e testes, o laboratório obteve os resultados contidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados da Comunidade de Queimadas - Santa Quitéria

Parâmetros Avaliados	Unidade	Resultados	Valores de acordo com a PRC nº 5/2017
pH à 25 °C	mg/L	7,380	-
Alcalinidade Parcial	mg/L	< 10,000	N.A
Alcalinidade Total	mg/L	380,000	N.A
Amônia (NH ₃)	mg/L	< 0,300	até 1,500
Bicarbonatos	mg/L	380,000	N.A
Cálcio	mg/L	146,795	N.A
Carbonatos	mg/L	< 2,000	N.A
Cloretos	mg/L	460,280	até 250,000
Condutividade	uS/cm	2.813,000	N.A

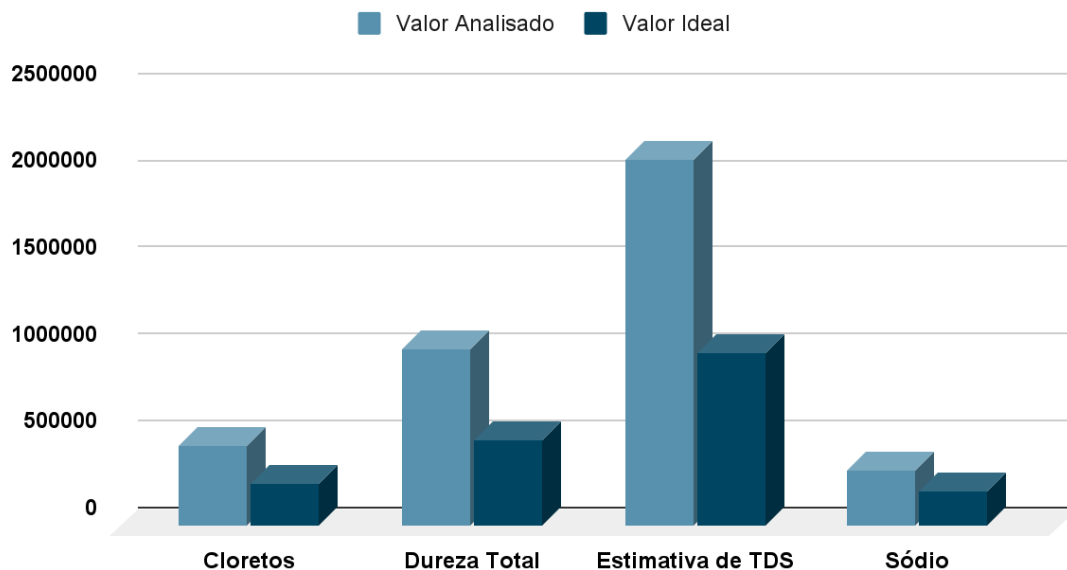
Cor Aparente	uH (mg Pt-Co/L)	< 10,00	até 15,00
Determinação de Aspecto		Límpido	N.A
Dureza Total	mg/L	1.022,515	até 500,000
Estimativa de TDS	mg/L	2.109,750	até 1.000,000
Ferro	mg/L	0,210	até 0,300
Hidróxido	mg/L	< 2,000	N.A
Magnésio	mg/L	159,400	N.A
Nitratos	mg/L NO ₃ -N	< 0,100	até 10,000
Nitritos	mg/L NO ₂ -N	< 0,050	até 1,000
Potássio	mg/L	9,500	N.A
Sódio	mg/L	324,000	até 200,000
Sulfato	mg/L	167,640	até 250,000
Turbidez	NTU	1,070	até 5,000

Fonte: autor.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se atestar que os valores não estão em conformidade com os parâmetros da Portaria 05/2017, do Ministério da Saúde, voltado para a determinação de Potabilidade da Água. Essa comunidade, entre todas as outras, é a mais próxima da mina de Itataia, cerca de 3 Km, em linha reta. Se analisada a tabela, pode-se ver que entre todos os pontos analisados, os que excederam os valores ideais da Portaria foram os Cloretos, Dureza Total, TDS e a quantidade de Sódio, como mostrando no Gráfico 3. Como visto nas outras tabelas, esses mesmos valores ficaram próximos do valor limite, e isso devido serem mais distantes da área da mina, apresentando uma menor incidência de urânio. Neste caso, devido a comunidade ser próxima da área da mina, esses valores excederam os valores limites.

Gráfico 3 - Comunidade de Queimadas

Comunidade de Queimadas



Fonte: Próprio Autor

De acordo com estudos realizados, o urânio pode ocasionar o aumento da Dureza Total da água, isso devido ao aumento de íons de minerais contidos na água. Esse aumento se dá devido a grande concentração de íons de urânio na água. Outro fator que foi alterado devido a grande concentração de urânio foi a Estimativa de TDS, que se dá pela quantidade de sais dissolvidos na água, atestando o grau de pureza da água. Neste caso, devido a alta incidência de urânio nesta comunidade, o valor de TDS aumentou expressivamente, confirmando que nessa comunidade, a água subterrânea apresenta um baixo grau de pureza, sendo de forma direta, prejudicial para a população que vive nessa comunidade, e que sem recursos e com a escassez de água, buscam nas águas subterrâneas, uma forma de suprir sua necessidade de água. A quantidade de urânio no solo também ocasiona o aumento de Cloreto e Sódio na água.

Figura 6 - Poço Profundo da Comunidade de Queimadas



Fonte: Próprio Autor.

Vale ressaltar, como no poço profundo das outras Comunidades, a população da região utiliza dessa fonte de água subterrânea para subsistência e consumo próprio.

Não foi possível realizar os ensaios microbiológicos, pois necessitavam de aparatos e técnicas específicas para a coleta. Devido a coleta ter sido realizada pelo próprio aluno, esse tipo de ensaio não foi realizado.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos pelo ensaio físico-químico, foi possível concluir que o urânio em grande incidência, principalmente nas áreas mais próximas da mina de Itataia, como o caso da comunidade de Queimadas, contribui de forma significativa e expressiva nas mudanças dos valores de alguns parâmetros analisados, tornando a água daquela região, uma substância com baixa potabilidade, sendo prejudicial para a saúde humana, quando consumido em um período longo de vida.

Foi observado nas outras amostras, que a distância da mina pode ser um fator que reduz a incidência de urânio e conseqüentemente, não ocorre alterações expressivas nos parâmetros da água, porém nesses locais, apresentam concentração de urânio, e deve-se ser feito monitoramentos periódicos para analisar essas mudanças dos parâmetros da água, pois em

tempos futuros, a incidência e concentração de urânio pode aumentar, ocasionando a elevação de alguns índices da água, tornando-a prejudicial para o consumo humano.

Sugere-se, para trabalhos futuros, a realização de ensaios microbiológicos, a fim de determinar a quantidade de coliformes e de Bactérias Heterotróficas, para determinação de outras possíveis patologias que podem ser ocasionadas por vírus, parasitas ou bactérias presentes na água. Sugere-se também, para complementação do trabalho, o ensaio de Espectrometria Gama do Solo, para determinar, possíveis radionuclídeos presentes no solo, que podem afetar significativamente a agricultura de subsistência de alguns moradores da região.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, S. R, *et al.* O estudo de caso como método de pesquisa em enfermagem: uma revisão integrativa. **Texto contexto – enferm**, v. 26, n. 4, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-07072017000400308&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 13 Dez. 2020. <https://doi.org/10.1590/0104-07072017005360016>.

ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Services H. Draft toxicological profile for uranium, 2011.

BRASILEIRO, F. M. G. *et al.* DIAGNÓSTICO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NO RIO CANINDÉ. **Revista Equador (UFPI)**, Piauí, v. 5, n. 4, 2019.

Brasil. Ministério da Saúde. Portaria n.º 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 14 de dezembro de 2011.

Brasil. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de Saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União, 2017.

BONUMÁ, N. B. **Avaliação da qualidade da água sob impacto das atividades de implantação de garimpo no município de São Martinho da Serra**. 2006. 41 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2006.

CARNEIRO, C. O estudo de casos múltiplos: estratégia de pesquisa em psicanálise e educação. **Psicol. USP**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 314-321, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65642018000200314&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 13 jan. 2021. <https://doi.org/10.1590/0103-656420170151>.

DIARIO DO NORDESTE. **Urânio no Ceará - Mina em Santa Quitéria**. Disponível em: diariodonordeste.verdesmares.com.br/negocios/uranio-no-ceara-mina-em-santa-quiteria-e-apontada-como-nova-csp-1.2158054. Acesso em: 17 Set. 2020.

FOLHES, M. T.; DONALD, N. Previsões tradicionais de tempo e clima no Ceará: o conhecimento popular à serviço da ciência. **Soc. nat. (Online)**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 19-31, Dez. 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-45132007000200002&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 13 Dez. 2021. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132007000200002>.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **RAE - Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995.

CONÇALVES JÚNIOR, J. T. G; SOUZA, M. J. N. D. Caracterização ambiental de Santa Quitéria, Ceará: a nova cidade uranífera do Brasil: **Revista Geonorte**: Manaus, v. 2, n. 4, p. 1368 – 1377, 2012.

GREENPEACE. Ciclo do Perigo: impactos da produção de combustível nuclear no Brasil, 2008.

HAKONSON-HAYES, A. C.; FRESQUEZ, P. R.; WHICKER, F.W. Assessing potential risks from exposure to natural uranium in well water. **Journal of environmental radioactivity**, v. 59, n. 1; p. 29–40, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0265931X01000340>. Acesso em: 12 Dez. 2020. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(01\)00034-0](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(01)00034-0)

INGÁ, E.C. Relatório técnico de avaliação dos resultados das análises de radioatividade em águas da região de Caetité, Lagoa Real e Livramento de Nossa Senhora, 2010.

KURTTIO, P. *et al.* Renal effects of uranium in drinking water. **Environmental health perspectives**, v. 110, n. 4, p. 337–42, 2002.

LI, W. B. *et al.* Biokinetic modeling of uranium in man after injection and ingestion. **Radiat Environ Biophys**, v. 44, n. 1, p. 29-40, 2005.

MEDEIROS, M. A. de; Diniz, A. S. A mina de Itataia em Santa Quitéria-CE: o urânio e os riscos da exploração. **Resista Casa da Geografia de Sobral**, v. 17, n. 1, p. 80 - 96, Mar. 2015. Disponível em: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/213/225>. Acesso em: 13 dez. 2020.

NORDBERG G.F.; NORDBERG, B. A. F.; FRIBERG, L. **Handbook of the Toxicology of Metals**. Academic Press 207, 3 ed., 2007. ISBN: 978-0-12-369413-3.

PATIAS, N. D.; HOHENDORFF, J. V. Critérios de qualidade para artigos de pesquisa qualitativa. **Psicol. Estud.**, Maringá, v. 24, 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-73722019000100236&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 15 Nov. 2021. <https://doi.org/10.4025/psicoestud.v24i0.43536>.

PRADO, G. R. **Estudo de contaminação ambiental por urânio no município de Caetité-Ba utilizando dentes humanos como bioindicadores**. 2007. 181 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilheus, 2007.

RODRIGUES, A. M. **Exploração e uso do Aquífero Guarani no Triângulo Mineiro**. 2007. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

SILVA, R. F. G da. **Riscos, saúde e alternativas de produção de conhecimentos para a justiça ambiental: o caso da mineração de urânio em Caetité, BA**. 2015. 208 f. Tese (Doutorado) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, (Doutorado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2015.

SOUZA, M. J. N; FIGUEIRÊDO, M. C. B *et al.* Saneamento básico e impactos ambientais na bacia hidrográfica do Rio Curu – estado do Ceará – NE do Brasil. **Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, v. 10, n. 208, 2006.

SOUZA, M. T. de; SILVA, M. D. da; CARVALHO, R. de. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein (São Paulo)**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 102-106, Mar. 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-45082010000100102&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 14 Dez. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-45082010rw1134>.

VICENTE-VICENTE, L. *et al.* Nephrotoxicity of uranium: pathophysiological, diagnostic and therapeutic perspectives. **Toxicological sciences: an official journal of the Society of Toxicology**, v. 118, n. 2, p.324–47, 2010.