



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ELZA KELLI PEQUENO NAZARETH MOTA

ANÁLISE E ZONEAMENTO DA OCORRÊNCIA DE RADIOATIVIDADE NATURAL  
DENTRO DO ESTADO DE PERNAMBUCO

RECIFE

2024

ELZA KELLI PEQUENO NAZARETH MOTA

**ANÁLISE E ZONEAMENTO DA OCORRÊNCIA DE RADIOATIVIDADE NATURAL  
DENTRO DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestra em Geografia. Área de concentração: Análise ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Helena Paula de Barros Silva

RECIFE

2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Nazareth Mota, Elza Kelli Pequeno.

Análise e zoneamento da ocorrência de radioatividade natural dentro do estado de Pernambuco / Elza Kelli Pequeno Nazareth Mota. - Recife, 2024.

74f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2024.

Orientação: Helena Paula de Barros Silva.

Inclui referências.

1. Radiação em Pernambuco; 2. Radiação Natural; 3. Pernambuco.  
I. Silva, Helena Paula de Barros. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

ELZA KELLI PEQUENO NAZARETH MOTA

**ANÁLISE E ZONEAMENTO DA OCORRÊNCIA DE RADIOATIVIDADE NATURAL  
DENTRO DO ESTADO DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestra em Geografia. Área de concentração: Análise ambiental.

Aprovada em: 14/08/2024.

**BANCA EXAMINADORA**

Profa. Dra. Helena Paula de Barros Silva (Orientadora – Examinadora Interna)  
Universidade de Pernambuco

Profa. Dra. Luciana Rachel Coutinho Parente (Examinadora Externa)  
Universidade de Pernambuco

Prof. Dr. Antonio Marcos dos Santos (Examinador Externo)  
Universidade de Pernambuco

A minha família, minha mãe Edijane, meu pai José Mauro, meu esposo Fábio Mota, meu filho Mauro Roberto, e minha irmã Renata.

Dedico

## RESUMO

A radiação natural é um fenômeno ambiental que envolve a liberação de partículas subatômicas e ondas eletromagnéticas por elementos radioativos encontrados na crosta terrestre, presentes no ambiente, como o sol, rochas, solo e até os mesmos alimentos. Essa ocorrência é uma fonte frequente de exposição à radiação para os seres humanos e consiste principalmente em três tipos de radiação: alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) e gama ( $\gamma$ ). A exposição à radiação ocorre principalmente por irradiação externa e interna, resultante da emissão de radiação gama durante o processo de decaimento radioativo desses elementos, a exposição pode ter implicações na saúde humana, dependendo da exposição e dos níveis de radiação. O presente trabalho aborda a presença da radiação natural no estado de Pernambuco, proveniente de fontes naturais presentes no ambiente. A partir do estudo realizado utilizando a metodologia PRISMA para realizar uma revisão sistemática e meta-análise dos trabalhos publicados sobre a ocorrência da radioatividade natural em Pernambuco, seguindo as etapas de levantamento bibliográfico, seleção e exclusão dos trabalhos e análise detalhada dos conteúdos promovendo a identificação, o estudo e o registro das áreas anômalas encontradas, como Pedra, Venturosa, Petrolina, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Olinda e Recife, onde, a partir do desenvolvimento do trabalho são identificadas concentrações significativas de elementos radioativos, como urânio, tório e potássio em diferentes tipos de amostras, como solo, sedimentos, água e lodo. Por fim, se destaca a importância da aplicação rigorosa de diretrizes e limites estabelecidos por organizações internacionais de saúde e segurança para garantir a proteção da saúde pública e a minimização dos riscos associados à exposição à radiação. As análises realizadas nas diferentes áreas de Pernambuco indicam a presença de radioatividade natural, com variações nas concentrações de radionuclídeos em diferentes regiões, influenciando os níveis de radiação de fundo em cada localidade e gerando direta e indiretamente diversos impactos socioambientais que a partir desse estudo foram identificados de acordo com os elementos encontrados em cada região.

**Palavras-chave:** Radiação em Pernambuco, Radiação Natural, Pernambuco, Níveis Radioativos.



## ABSTRACT

Natural radiation is an environmental phenomenon that involves the release of subatomic particles and electromagnetic waves by radioactive elements found in the Earth's crust, present in the environment, such as the sun, rocks, soil, and even certain foods. This occurrence is a frequent source of radiation exposure for humans and primarily consists of three types of radiation: alpha ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ), and gamma ( $\gamma$ ). Radiation exposure occurs mainly through external and internal irradiation, resulting from gamma radiation emission during the radioactive decay process of these elements. Such exposure may have implications for human health, depending on the duration and levels of radiation. This study addresses the presence of natural radiation in the state of Pernambuco, originating from natural sources in the environment. The research was conducted using the PRISMA methodology to perform a systematic review and meta-analysis of published studies on the occurrence of natural radioactivity in Pernambuco. This process included stages of literature review, selection and exclusion of studies, and detailed content analysis, facilitating the identification, study, and documentation of anomalous areas such as Pedra, Venturosa, Petrolina, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Olinda, and Recife. The development of the study revealed significant concentrations of radioactive elements, such as uranium, thorium, and potassium, in different types of samples, including soil, sediments, water, and sludge. Finally, this study emphasizes the importance of the strict application of guidelines and limits established by international health and safety organizations to ensure public health protection and minimize the risks associated with radiation exposure. The analyses conducted in the various areas of Pernambuco indicate the presence of natural radioactivity, with variations in radionuclide concentrations across different regions, influencing background radiation levels in each locality and generating various direct and indirect socio-environmental impacts, which have been identified in this study according to the elements found in each region.

**Keywords:** Radiation in Pernambuco, Natural Radiatio, Pernambuco, Radioactive Levels.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Vias de transferência dos radionuclídeos mais importantes. ....	17
Figura 2- Distribuição da radioatividade no ambiente .....	19
Figura 3 - Radiações não ionizantes e ionizantes.....	21
Figura 4 - Fontes de Radioatividade Natural. ....	27
Figura 5 - Exposição do homem à radiação ionizante.....	28
Figura 6 - Doses efetivas decorrentes de fontes de radioatividade .....	30
Figura 7 - Contribuição da dose efetiva derivada das fontes de radioatividade natural .....	31
Figura 8 - Mapa de Pernambuco.....	37
Figura 9 - Fluxograma da seleção dos artigos para a revisão baseado no Método PRISMA.....	41
Figura 10 – Representação geográfica do município de Pedra – PE .....	43
Figura 11 Representação geográfica de Venturosa – PE.....	46
Figura 12 - Representação geográfica de Petrolina –PE.....	47
Figura 13 - Representação geográfica do Cabo de Santo Agostinho- PE.....	50
Figura 14 Representação geográfica de Ipojuca –PE .....	50
Figura 15 - Representação geográfica de Goiana – PE .....	53
Figura 16 - Localização da área no estuário do Rio Goiana .....	53
Figura 17 - Representação geográfica de Olinda – PE.....	55
Figura 18 - Representação geográfica de Recife – PE .....	57
Figura 19 - Áreas anômalas de Pernambuco .....	61
Figura 20 - Elementos encontrados nas áreas estudadas .....	62

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Levantamento bibliográfico das áreas anômalas e os elementos encontrados.....	59
Tabela 2 - Levantamento do índice de radioatividade, contaminação ambiental, impacto na saúde humana e principais usos industriais do elementos encontrados.....	63

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVOS .....	16
2.1. Objetivo Geral .....	16
2.2. Objetivos Específicos .....	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
3.1. Radioatividade natural .....	22
3.2. Elementos radioativos e seus impactos .....	26
3.3. Níveis de radiação natural aceitos .....	28
4. METODOLOGIA .....	32
4.1. Importância da revisão bibliográfica .....	32
4.2. Metodologia Prisma .....	34
4.3. Critérios de seleção, inclusão e exclusão de trabalhos. ....	35
4.4. Caracterização geográfica da área de estudo .....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	40
5.1. Levantamento bibliográfico das áreas anômalas .....	42
5.1.1. Pedra .....	42
5.1.2. Venturosa .....	45
5.1.3. Petrolina .....	47
5.1.4. Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca .....	49
5.1.5. Carne de Vaca e Ponta de Pedras .....	52
5.1.6. Olinda .....	55
5.1.7. Recife .....	57
5.2. Mapeamento dos elementos presentes nas áreas anômalas .....	59
5.3. Levantamento dos possíveis impactos causados pela presença dos elementos radiativos. ....	62
6. CONCLUSÕES .....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71

## 1. INTRODUÇÃO

Este estudo será estruturado da seguinte forma: inicialmente, utilizaremos o método "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses" (PRISMA) para revisar a literatura existente sobre a presença de radiação natural e seus efeitos no estado de Pernambuco. Em seguida, desenvolveremos um estudo detalhado abordando a existência e os locais que apresentam radiação natural significativa na área de estudo, com uma abordagem sistemática e estruturada a partir de revisões sistemáticas e metanálises dos trabalhos publicados. As fontes utilizadas para a pesquisa incluem as plataformas ATTENA - Repositório Digital da UFPE, IEEE Xplore, Portal Periódicos da Capes e Web of Science, utilizando as palavras-chave "Radiation in Pernambuco", "Natural Radiation", "Pernambuco" e "Radioactive Levels", nesta ordem, separadas pelo operador booleano "AND".

Posteriormente, apresentaremos a metodologia utilizada para coletar e analisar os dados. Por fim, discutiremos os elementos encontrados em cada região, seu índice de radioatividade, contaminação ambiental, impacto na saúde humana e principais usos industriais.

A partir da análise estrutural do presente trabalho é importante compreender alguns pontos norteadores do estudo desenvolvido, compreendendo inicialmente que a radiação natural é um fenômeno presente no ambiente que compreende a emissão de partículas subatômicas e ondas eletromagnéticas por elementos radioativos presentes na crosta terrestre, materiais de construção, alimentos e até mesmo no próprio corpo humano. Este fenômeno é uma fonte comum de exposição à radiação para os seres humanos e é composto principalmente por três tipos de radiação: alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) e gama ( $\gamma$ ) (Santos Júnior *et al.*, 2005).

A radiação alfa consiste em núcleos de hélio (dois prótons e dois nêutrons) e é relativamente pesada e de curto alcance. Ela pode ser bloqueada facilmente por uma folha de papel ou até mesmo pela pele humana, mas representa um risco significativo se inalada ou ingerida, uma vez que pode causar danos aos tecidos biológicos (UNSCEAR, 2000).

A radiação beta é composta por elétrons ou pósitrons de alta energia. Ela é mais penetrante que a radiação alfa e pode penetrar na pele, mas é bloqueada por materiais como madeira ou plástico. A exposição excessiva à radiação beta pode levar a danos ao DNA e aumentar o risco de desenvolvimento de câncer (UNSCEAR, 2000).

A radiação gama é a forma mais penetrante de radiação e consiste em ondas eletromagnéticas de alta energia. Ela pode atravessar materiais densos, como concreto e chumbo, e representam um risco significativo para a saúde se não forem devidamente controladas. A exposição prolongada à radiação gama pode causar danos aos tecidos biológicos e aumentar o risco de doenças como o câncer (UNSCEAR, 2000).

Além disso, a radiação natural é composta por elementos radioativos como urânio, tório e potássio, que estão presentes na crosta terrestre em diferentes concentrações. Esses elementos emitem radiação constantemente através de processos de decaimento radioativo, contribuindo para os níveis de radiação de fundo no ambiente (Santos Júnior *et al.*, 2005).

Grande parte dessa radioatividade natural é oriunda de solos e rochas, em cuja constituição encontram-se os radionuclídeos que são átomos instáveis que emitem radiação ionizante como resultado de sua instabilidade nuclear. Essa emissão pode ocorrer de várias formas, como alfa (partículas de núcleos de hélio), beta (elétrons ou pósitrons de alta energia) e gama (ondas eletromagnéticas de alta energia) (UNSCEAR, 1998).

A radiação ionizante é caracterizada pela sua capacidade de ionizar átomos e moléculas, ou seja, ela possui energia suficiente para arrancar elétrons dos átomos com os quais interage. Isso pode resultar na formação de íons carregados eletricamente. Por outro lado, a radiação não ionizante não possui energia suficiente para ionizar átomos ou moléculas, portanto não produz íons durante sua interação com a matéria (UNSCEAR, 1998).

A exposição prolongada ou em níveis elevados à radiação tanto ionizante quanto não ionizante pode ter efeitos adversos, como queimaduras solares, danos à pele e possíveis riscos à saúde, como aumento do risco de câncer em determinadas situações de exposição prolongada (Medhat, 2009).

A exposição humana à radiação ocorre por duas vias principais: a) irradiação externa, resultante da emissão de radiação gama durante o processo de decaimento radioativo de radionuclídeos naturais encontrados no solo, atmosfera, materiais de construção e radiação cósmica, e b) irradiação interna, resultante da ingestão ou inalação de radionuclídeos e seus produtos de decaimento radioativo (Medhat, 2009).

Embora a radiação natural seja uma parte intrínseca do ambiente, é importante monitorar e controlar a exposição humana a ela para garantir a saúde e a segurança pública. Isso inclui a implementação de medidas de proteção em áreas com altos níveis de radiação, o monitoramento da radiação em ambientes de trabalho e a educação pública sobre os riscos associados à exposição à radiação natural (Cavalcante *et al.*, 2011).

Em algumas regiões do Brasil, o solo apresenta altos níveis de radioatividade natural, como é o caso da zona rural de Poços de Caldas, em Minas Gerais, Caitité, na Bahia, Guarapari, no Espírito Santo, e Pedra, em Pernambuco. Essas áreas se destacam não só pela viabilidade econômica, mas também pelos impactos socioambientais causados. Em Pernambuco, há vários estudos em andamento para monitorar as áreas com presença de radioatividade natural, principalmente aquelas onde há atividades de mineração e possíveis contaminações por metais pesados (Santos Júnior *et al.*, 2005).

A antiga NUCLEBRAS, durante o período de 1974 a 1977 descobriram ocorrências de urânio nos municípios de Pedra e Venturosa, dentro de uma área de 40.000 m<sup>2</sup>, apresentando elevadas ocorrências naturais de urânio e tório, na cidade de Olinda até o extremo norte do estado da Paraíba, existe uma jazida que apresenta uma das mais altas concentrações de urânio (Costa, 2011).

Estudos nas praias de Acaú, Carne de Vaca e Ponta de Pedras apresentaram ocorrências de minerais pesados de densidade mais alta, resultando em ocorrências de radioatividade natural (França, 2013).

A presença e a atividade dos radionuclídeos são monitoradas de perto por razões de segurança e saúde pública, para garantir que os níveis de exposição à radiação sejam mantidos dentro de limites seguros. Os níveis aceitáveis de

exposição à radiação variam de acordo com o tipo de radiação, a fonte da radiação, a duração da exposição e o contexto em que ocorre a exposição.

No entanto, existem diretrizes e limites estabelecidos por várias organizações internacionais de saúde e segurança para proteger as pessoas contra os efeitos prejudiciais da radiação.

Por exemplo, a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) e a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) fornecem recomendações e orientações sobre limites de exposição à radiação. Um dos principais critérios utilizados é o limite de dose efetiva anual, expresso em millisieverts (mSv), que representa a quantidade de radiação absorvida pelo corpo humano e os potenciais efeitos à saúde (Santos Júnior *et al.*, 2005).

Para a população em geral, o limite de dose efetiva anual recomendado é geralmente de 1 mSv, excluindo a exposição natural à radiação de fundo. Para trabalhadores expostos à radiação em ambientes de trabalho, o limite pode ser maior, geralmente em torno de 20 mSv por ano, com limites adicionais estabelecidos para partes do corpo específicas, como olhos, pele e extremidades (UNSCEAR, 1988).

É importante observar que esses limites e diretrizes podem variar entre diferentes países e organizações, e que eles são baseados em avaliações de risco à saúde e estudos científicos atualizados sobre os efeitos da radiação. A aplicação rigorosa desses limites visa garantir a proteção da saúde pública e a minimização dos riscos associados à exposição à radiação.

A radiação natural em Pernambuco é um fenômeno presente devido à composição geológica do estado, que contém elementos radioativos como urânio, tório e potássio-40. Esses elementos emitem radiação ionizante que contribui para os níveis de radiação de fundo na região (Amaral, 2019).

A exposição à radiação natural em Pernambuco ocorre principalmente por irradiação externa, resultante da emissão de radiação gama durante o processo de decaimento radioativo desses elementos, e por irradiação interna, resultante da ingestão ou inalação de radionuclídeos presentes em solos, água e alimentos (Amaral, 2019).

A distribuição geológica desses elementos radioativos pode variar em diferentes áreas de Pernambuco, o que influencia os níveis de radiação natural em cada região.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.Objetivo Geral**

Efetuar, através do método PRISMA uma pesquisa ampla acerca da incidência da radiação natural no Estado de Pernambuco, com ênfase na identificação dos elementos radioativos presentes em diferentes elementos naturais.

### **2.2.Objetivos Específicos**

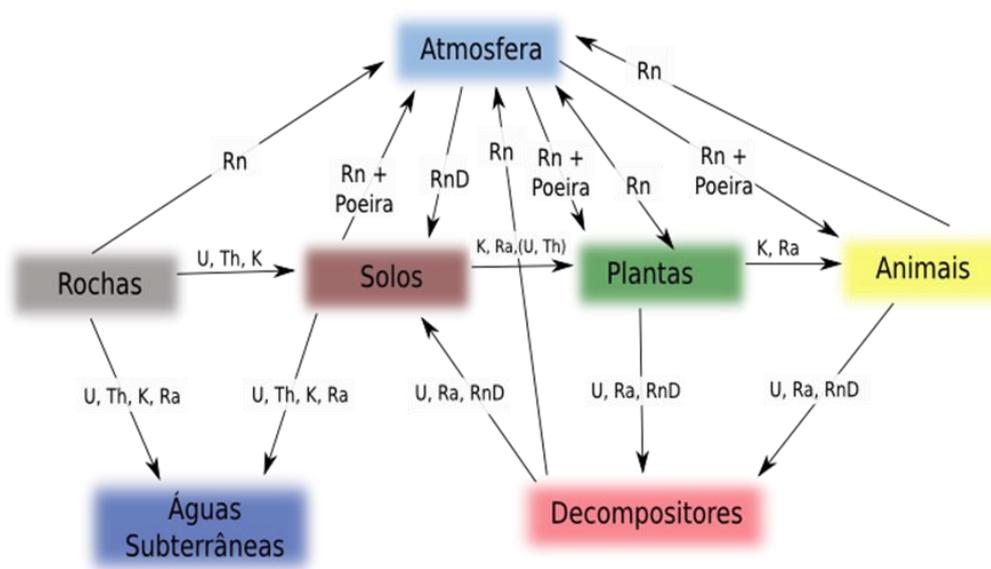
- Realizar uma revisão bibliográfica utilizando a metodologia PRISMA para identificar, selecionar e avaliar criticamente as pesquisas mais relevantes sobre a ocorrência da radioatividade natural em Pernambuco.
- Realizar um levantamento bibliográfico da presença de elementos radioativos, como Urânio, Tório e Potássio, em diferentes materiais, como solo, sedimentos e água coletados em diversas regiões de Pernambuco.
- Investigar a distribuição dos elementos radioativos e seus níveis de radiação natural em cada região de Pernambuco e seus possíveis impactos socioambientais.
- Desenvolver mapas e tabelas com os elementos encontrados e as áreas estudadas no território Pernambucano.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Desde a formação do planeta Terra a radioatividade natural está presente em todas as esferas terrestres, na litosfera, na hidrosfera e na atmosfera, e o tanto os seres humanos quanto os animais têm contato direto e indireto com a radiação (Santos,2002).

A radioatividade é uma característica de certos núcleos atômicos que passam por um processo de decaimento espontâneo, resultando na emissão de partículas nucleares e/ou radiação eletromagnética. Esse fenômeno ocorre em núcleos instáveis, chamados de radionuclídeos. O decaimento de um núcleo instável é um evento aleatório, impossível de prever exatamente quando ocorrerá, mas a probabilidade de decaimento pode ser calculada. Inicialmente observada em minerais específicos, a radioatividade foi posteriormente descoberta em diversos elementos do ambiente. A figura 1 aborda as vias de presença e transferência dos radionuclídeos (Paiva, 2008).

**Figura 1- Vias de transferência dos radionuclídeos mais importantes.**



Fonte: SPACOV (2016).

A primeira interação do ser humano com a radiação natural se deu através de um experimento realizado por Wilhelm Conrad Rontgen (1845 – 1923), professor e pesquisador, desenvolvia análises sobre descargas elétricas, e ao trabalhar com bário percebeu a emissão de raios potentes porém ainda desconhecidos que podiam inclusive atravessar sua própria mão, dando início a uma grande revolução tecnológica, ele chamou essa descoberta de raios x, utilizando o mesmo logo em seguida tirando a primeira radiografia da mão de sua esposa, introduzindo na comunidade científica estudos relacionados a radiação (Okuno, 2018).

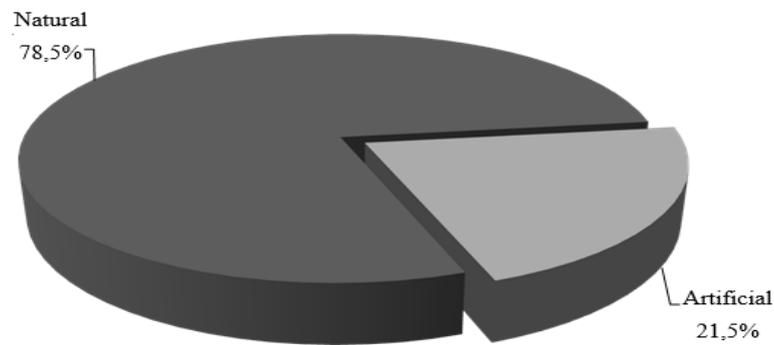
Até meados de 1934 as radiações já eram utilizadas na Medicina e através de radiações alfa, beta e gama emitidas por radionuclídeos naturais extraídos do meio ambiente, porém com o passar dos anos, os estudos foram se aprofundando e em 1934, Irène Curie e seu marido Frédéric Joliot – Curie, produziram artificialmente fósforo e nitrogênio, bombardeando alumínio e boro com partículas alfa, estas emitidas pelo polônio (Okuno, 2018).

A partir daí a necessidade de promover maiores estudos e análise de materiais radiativos foi aumentando, pois os danos potenciais resultantes da exposição à radioatividade, seja a mesma natural ou artificial, podem ser detectados apenas em um estágio avançado.

A partir das grandes revoluções industriais e do avanço tecnológico antrópico a relação com os elementos radioativos foi se tornando cada vez mais complexa e necessária para o desenvolvimento da humanidade, sendo assim a ação antrópica dentro do meio ambiente pode além de alterar, aumentar os níveis de radiação, a partir da extração desses recursos, o que torna a análise e estudo dos níveis de radiação existentes, e se tais níveis podem de influenciar negativamente o crescimento sustentável do globo terrestre como um todo, ou seja, quais as consequências do contato com esses elementos radioativos.

Na figura 2 podemos observar que as fontes naturais de radiação são a maioria no que concerne a sua distribuição no meio ambiente, ou seja as mesmas contabilizam 78,5% da radiação recebida pela população mundial (UNSCEAR, 2008).

**Figura 2- Distribuição da radioatividade no ambiente**



Fonte: adaptado de UNSCEAR (2008)

Organização: Autor, 2024

Essa localização e o nível de radioatividade presente na Terra vem sendo amplamente estudada e explorada com o passar dos anos, seja na medicina, nas fábricas, na produção de energia, entre outras áreas que dependem desse conhecimento científico. Essas radiações podem ter origem no meio ambiente, a partir de fontes naturais, ou em atividades do próprio homem, a partir de fontes antropogênica (Silva, 2014).

A radioatividade natural é a principal fonte de radiação que afeta o ser humano, pois além disso é encontrada em maioria no meio ambiente (PASCHOLATI *et al.*, 1997; IRD-CNEN, 2000). Podem ser originadas por exposições externas e ou internas, ou seja, as externas provenientes do meio ambiente em geral e as internas produzidas ou utilizadas pelo homem. (Gonzalez; Anderer, 1989).

A necessidade de pesquisas para ambas as fontes (naturais e artificiais) é coerente e justifica-se em função da capacidade da radiação interagir com a matéria, podendo causar danos celulares e afetar o material genético (DNA), causando doenças graves que podem levar à morte. (SANTOS JÚNIOR, 2019, pág.27)

Diversas pesquisas científicas realizadas chamam enorme atenção para os riscos a exposição da radiação natural, por isso é importante ter conhecimento dos

seus níveis e localização, pois boa parte dessa radiação é transferida através do funcionamento do ecossistema terrestre. Essa exposição a substâncias químicas, principalmente aquelas radioativas é trabalhada normalmente a partir do biomonitoramento ambiental, e segue sendo de extrema importância para a compreensão e manutenção da relação do ser humano com meio ambiente e seus diversos aspectos.

Os elementos radioativos dentro da literatura podem ser chamados de NORM (Naturally Occuring Radioactive Material), são aqueles de ocorrência natural, e TERNORM (Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material, são aqueles que são manipulados e concentrados tecnologicamente, tais elementos sejam naturais ou manipulados apresentam uma vital importância no que concerne sua monitoração com o intuito de evitar o limite radiométrico determinados pelas normas vigentes (El Afifi e Awwad, 2005).

Dentro das perspectivas dessas normas estabelecidas, compreende-se que a exposição por menor que seja causa danos ao ser humano, em curto ou longo prazo, porém a exposição a algum tipo de radiação é inevitável, principalmente aquelas provenientes de fontes naturais. Atualmente cerca de 95% de toda população do mundo está exposta a taxa de 0,3 a 0,6 mSv, esses valores podem variar de acordo com o local e suas características naturais, bem como com a ação antrópica.

Segundo a UNSCEAR, o Brasil e a Índia são os países que apresentam grandes concentrações de minerais radioativos naturais, apresentando diversas áreas anômalas.

No Brasil pode-se destacar a região de minas de urânio e tório do Planalto de Poços de Caldas em Minas Gerais e as praias com areias monazíticas, em Guarapari, no Espírito Santo, onde os níveis de radiação natural atingem valores dez vezes superiores aos normais (Elsenbud e Gessel, 1997).

Em Pernambuco, as áreas consideradas anômalas encontram-se localizadas no litoral e na região do agreste semiárido. No caso do litoral, as anomalias estão associadas à presença de urânio nas rochas fosfáticas (Amaral, 1994; Amaral *et al.*, 2005).

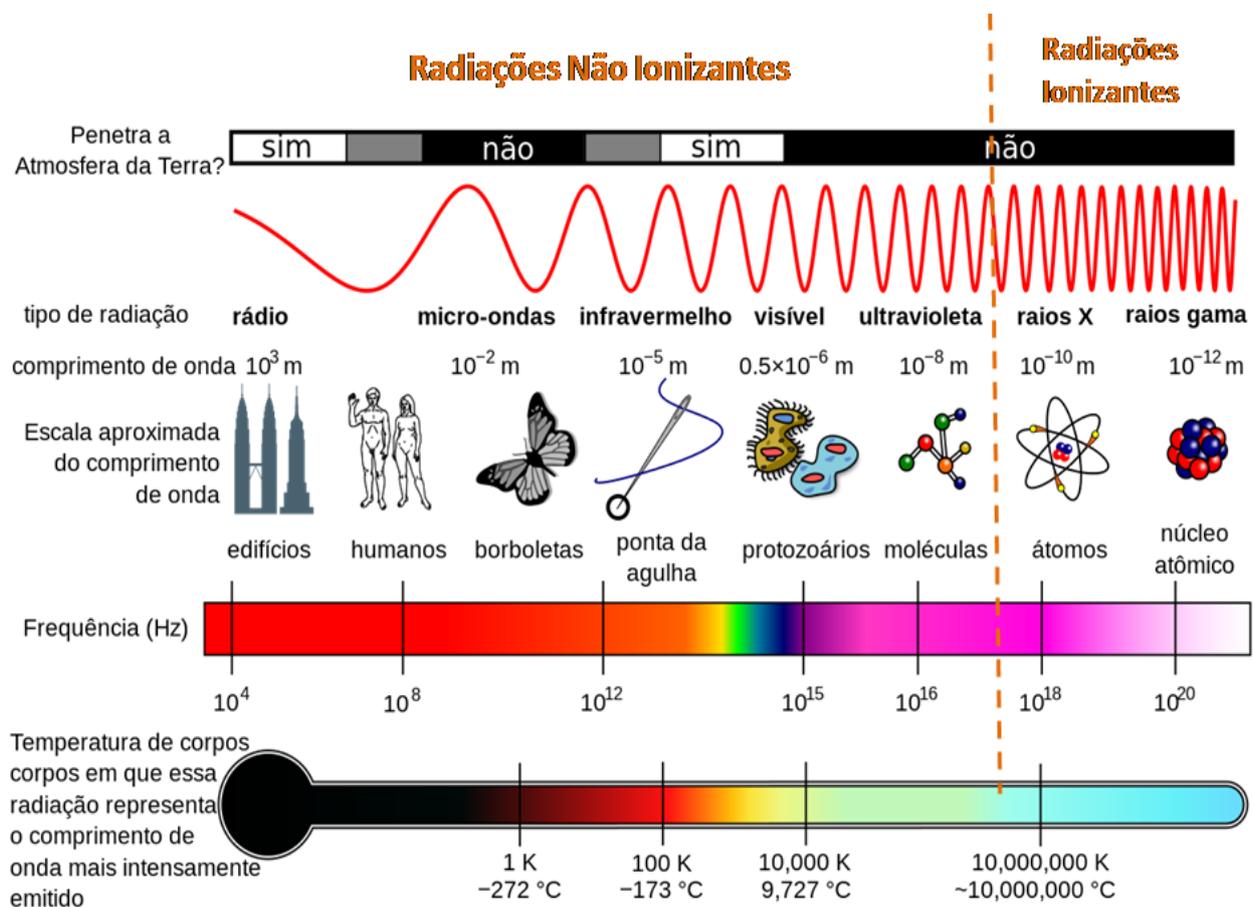
Na região do agreste do semiárido, existem as maiores anomalias de urânio encontradas no estado (Santos Júnior *et al.*, 2006; Santos Júnior, 2009).

Os radionuclídeos são isótopos radioativos de elementos químicos que emitem radiação ionizante durante seu processo de decaimento radioativo.

Alguns metais pesados, como o urânio e o tório, podem ser considerados radionuclídeos devido à sua capacidade de emitir radiação. Esses elementos radioativos são bastante perigosos, pois apresentam um alto potencial de contaminação radioativa. Além disso, a presença de metais pesados em rejeitos radioativos pode aumentar a toxicidade e a periculosidade do material, tornando o seu manejo e descarte ainda mais desafiadores (Paiva, 2008).

Na figura 3, podemos observar exemplos de radiação ionizante e não ionizante, a presença de radiações em variados elementos, seus espectros eletromagnéticos, seu comprimento de onda, e a temperatura dos corpos.

**Figura 3 - Radiações não ionizantes e ionizantes**



Fonte: FONSECA (2013)

A relação entre metais pesados e radionuclídeos está relacionada ao potencial de contaminação ambiental e impactos negativos à saúde humana quando esses elementos são encontrados em conjunto, aumentando o risco de exposição a substâncias tóxicas e radioativas (Paiva, 2008).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu limites máximos de ingestão diária de metais pesados radiativos para proteger a saúde pública. Os limites variam entre os diferentes metais e dependem da idade e do peso corporal da pessoa. Alguns exemplos de limites máximos de ingestão diária recomendados pela OMS incluem: chumbo: 0,5 microgramas por quilo de peso corporal por dia, mercúrio: 4 microgramas por quilo de peso corporal por dia, cádmio: 0,4 microgramas por quilo de peso corporal por dia.

No entanto, é importante observar que qualquer exposição a um metal pesado pode ser prejudicial à saúde, mesmo que esteja dentro dos limites recomendados pela OMS. Portanto, é importante minimizar a exposição a esses metais sempre que possível.

### **3.1. Radioatividade natural**

Os materiais radioativos de ocorrência natural, que contêm quantidades significativas de radionuclídeos e emitem radiação ionizante, são conhecidos como NORM - Material Radioativo de Ocorrência Natural, de acordo com a literatura.

Existem aproximadamente 340 nuclídeos na natureza, dos quais cerca de 70 são radioativos. Elementos com número atômico acima de 80 possuem isótopos radioativos, e todos os isótopos de elementos com número atômico acima de 83 são radioativos (Santos Júnior, 2009).

A radioatividade natural tem origem terrestre e cósmica, sendo composta por radionuclídeos primordiais, raios cósmicos e radionuclídeos cosmogênicos. Os radionuclídeos primordiais, com meia-vida comparável à idade da Terra, e seus descendentes estão presentes no ambiente desde a formação do planeta. A desintegração dos radionuclídeos primordiais gera outros elementos radioativos até

atingirem uma forma isotópica estável, caracterizando uma série de decaimento radioativo (Santos Júnior, 2009).

Quanto mais prótons um átomo radioativo possui, maior será sua tendência a sofrer decaimento radioativo, emitindo partículas e radiação, ou seja, o torna um elemento radioativo mais pesado, pois existe a presença de um número maior de prótons no núcleo do átomo. Isso significa que o elemento possui um número atômico maior e, conseqüentemente, um número de massa maior (Pontedeiro, 2006).

Na série de decaimento do  $^{238}\text{U}$ , ocorrem múltiplas transformações até a formação do núcleo estável  $^{206}\text{Pb}$ . O radionuclídeo com a maior meia-vida nesta série é o  $^{238}\text{U}$  ( $4,468 \times 10^9$  anos), seguido pelo  $^{234}\text{U}$  ( $2,48 \times 10^5$  anos) e  $^{230}\text{Th}$  ( $7,52 \times 10^4$  anos). Destaca-se o  $^{226}\text{Ra}$  dentro desta série, com uma meia-vida de 1600 anos, que por emissão alfa gera o  $^{222}\text{Rn}$ , um gás inerte que pode se acumular em ambientes fechados (UNSCEAR, 2000).

O  $^{222}\text{Rn}$  e seus descendentes são de extrema importância em termos de proteção radiológica, com o sistema respiratório, em particular os pulmões, sendo o principal alvo deste radionuclídeo. Os isotopos do rádio e seus produtos de decaimento são responsáveis por aproximadamente 53% da exposição humana à radiação. Na série de decaimento do  $^{232}\text{Th}$ , as transformações levam à formação do núcleo estável  $^{208}\text{Pb}$ . Devido às emissões de alta energia de seus descendentes, o  $^{228}\text{Ra}$  é o radionuclídeo mais relevante desta série sob o ponto de vista radioecológico. Nesta série, também é encontrado o isótopo radioativo  $^{220}\text{Rn}$ , cujos efeitos são cerca de vinte vezes menores que os do  $^{222}\text{Rn}$  (Silva, 2014).

O potássio é um macroelemento essencial para a vida, com três isótopos de ocorrência natural (39, 40 e 41), sendo apenas o  $^{40}\text{K}$  radioativo. Com uma meia-vida de  $1,28 \times 10^9$  anos, o  $^{40}\text{K}$  decai por emissão de partícula beta, formando  $^{40}\text{Ca}$  ou  $^{40}\text{Ar}$ . Responsável por cerca de 98% das emissões gama dos radionuclídeos primordiais da crosta terrestre, o  $^{40}\text{K}$  é relevante em termos de radiação. Outros radionuclídeos primordiais, como o  $^{235}\text{U}$  e suas séries de decaimento,  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{138}\text{La}$ , entre outros, contribuem pouco para a dose anual de radiação nos seres humanos devido à sua baixa concentração (UNSCEAR, 2000).

A radioatividade cosmogênica, por sua vez, é formada pela ativação de isótopos estáveis presentes na atmosfera pela interação com os raios cósmicos, gerando radionuclídeos como  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$  e  $^{22}\text{Na}$ . A radiação cósmica possui origem em raios cósmicos galácticos, radiação solar cósmica e cinturões de radiação de Van Allen. A maioria dos radionuclídeos cosmogênicos tem pouca relevância em termos de dose de radiação, sendo mais importantes como traçadores ambientais, com exceção de alguns como o  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$  e  $^{22}\text{Na}$ , que possuem importância metabólica para o corpo humano (UNSCEAR, 2000).

A presença de altas concentrações de elementos radioativos naturais expõe os seres humanos aos riscos dos danos biológicos causados pela radiação ionizante. Os metais pesados radiativos são elementos que ocorrem naturalmente na crosta terrestre e estão presentes de diversas formas, junto com outros componentes do nosso globo terrestre, em certas concentrações, esses metais desempenham um papel vital para a sobrevivência humana, pois têm sido indispensáveis para o progresso das civilizações e para o funcionamento da sociedade moderna (Pascholati *et al.*, 1997).

Nesse contexto, a transformação de matérias-primas em produtos manufaturados se tornou um requisito essencial para a vida e o desenvolvimento da humanidade. As pessoas estão sempre em contato com radiações ionizantes, sejam elas naturais ou artificiais. A radiação natural é a principal fonte de radiação que afeta os seres humanos, sendo responsável por 70% da dose total externa que recebem (Pascholati *et al.*, 1997).

Essas radiações ocorrem tanto por exposição externa, quando originadas de substâncias radioativas presentes no ambiente ou das radiações cósmicas, como por exposição interna, resultante da absorção de substâncias radioativas através da ingestão ou da inalação (Gonzalez; Anderer, 1989).

A radiação proveniente da Terra pode ser encontrada em todas as partes do ecossistema em diferentes níveis, dependendo da concentração das substâncias naturais, como rochas, solos, água e alimentos.

O conhecimento da distribuição dos radionuclídeos no ambiente é de fundamental importância para a avaliação da exposição à radiação natural por parte do público e, conseqüentemente, da dose de radiação por este recebida,

proveniente de elementos radioativos. Entre os radionuclídeos mais importantes para estimar a dose de contaminação interna, destacam-se o  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e os produtos de sua decomposição, juntamente com o  $^{40}\text{K}$  (Kannan *et al.*, 2002).

O urânio é um elemento radioativo presente na natureza em forma mineral, sendo uma das principais fontes de radionuclídeos naturais e emitindo partículas alfa. Além disso, é um dos elementos tóxicos mais pesados encontrados na natureza. Rochas, solos, águas superficiais e subterrâneas, ar, plantas e animais contêm quantidades variáveis desse elemento, em concentrações da ordem de algumas partes por milhão (ppm) (Kannan *et al.*, 2002).

Devido à presença de urânio em vários minerais, é possível detectar radionuclídeos originados de sua cadeia de decomposição na atmosfera de minas de tungstênio, chumbo, molibdênio, carvão e rochas fosfatadas. Esses minerais são usados como fosfatos na produção de fertilizantes químicos, amplamente utilizados na agricultura. Esses fertilizantes fosfatados geralmente estão contaminados por concentrações muito baixas de urânio (Saworoski, 1969).

Pesquisas realizadas chamam a atenção para possíveis riscos à saúde humana causados pela exposição à radiação natural, onde a maior parte da dose é proveniente dos radionuclídeos das séries naturais do  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  (Pascholati *et al.*, 1997; IRD-CNEN, 2000).

A dose causada pela radiação ambiental varia dependendo da ocorrência de minérios radioativos. A presença de elementos radioativos na natureza, sem intervenção humana, caracteriza a radioatividade natural. Em Pernambuco, assim como em diversas regiões do mundo, é possível encontrar substâncias radioativas em seu território (Pascholati *et al.*, 1997; IRD-CNEN, 2000).

O urânio é uma das principais fontes de radioatividade natural em Pernambuco, podendo ser encontrado em rochas e solos em concentrações variáveis. A radioatividade emitida por esse elemento pode ser detectada por meio de equipamentos especializados, como o espectrômetro de raios gama. Além do urânio, outras substâncias radioativas, como o rádio e o tório, também podem estar presentes em menor quantidade em rochas, solos e águas subterrâneas (Santos, 2002).

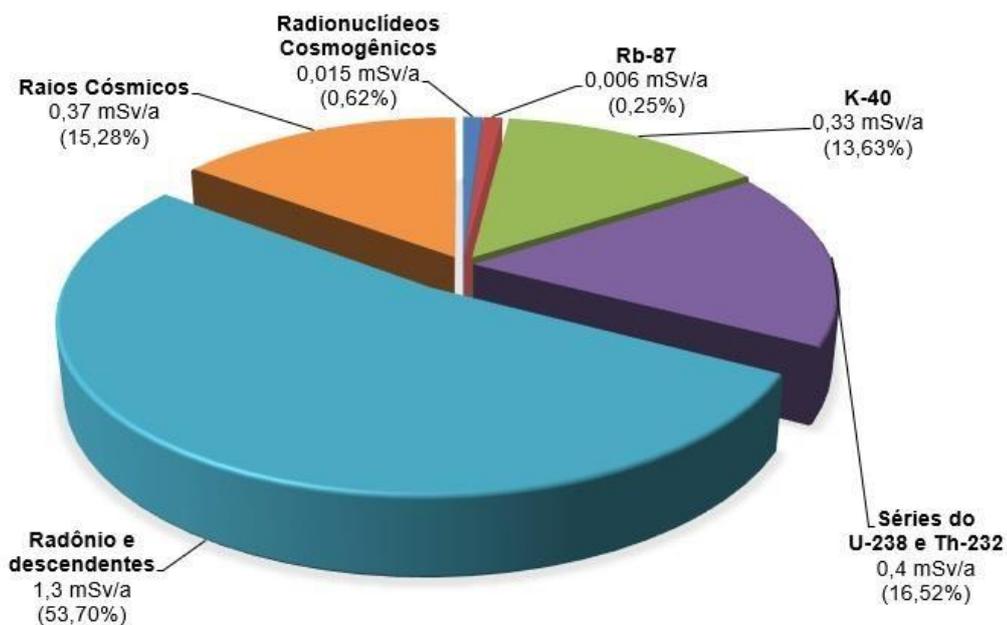
Apesar da presença de radioatividade natural não representar necessariamente um risco à saúde, é importante adotar medidas de precaução em áreas com concentrações mais elevadas de elementos radioativos, como limitar a exposição prolongada e garantir a ventilação adequada em ambientes fechados. As autoridades pernambucanas, assim como em outros estados brasileiros, realizam monitoramentos regulares dos níveis de radioatividade natural, visando assegurar a segurança e proteção da população.

### **3.2.Elementos radioativos e seus impactos**

A radiação do ambiente está presente tanto na atmosfera quanto na superfície da Terra devido aos radionuclídeos cosmogênicos, que se formam a partir da interação com o espaço cósmico, e aos radionuclídeos primordiais, que são encontrados em rochas e solos, especialmente nas séries do urânio e tório e no potássio-40. Esses radionuclídeos naturais podem ser encontrados no ar, na água, no solo e nas rochas. A maioria dos radionuclídeos presentes na natureza estão divididos em três famílias ou séries naturais:  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e actínídeo ( $^{235}\text{U}$ ), que, por meio de processos de decaimento radioativo, produzem cerca de 40 radionuclídeos diferentes.

No Brasil, foram realizados vários estudos sobre a presença de radioatividade natural em alimentos, conforme documentado por Amaral (1992), Lauria *et al.* (2001) e Santos (2002). Entretanto, essas pesquisas concentram-se principalmente em áreas com níveis elevados de radioatividade natural, com o objetivo de estimar a dose efetiva anual e/ou diária em grupos considerados críticos. Portanto, é importante ter conhecimento sobre a distribuição desses radionuclídeos no ambiente como pré-requisito para avaliar a exposição à radiação natural, na figura 4 podemos observar as fontes de radioatividade natural (Silveira, 2007).

**Figura 4 - Fontes de Radioatividade Natural.**



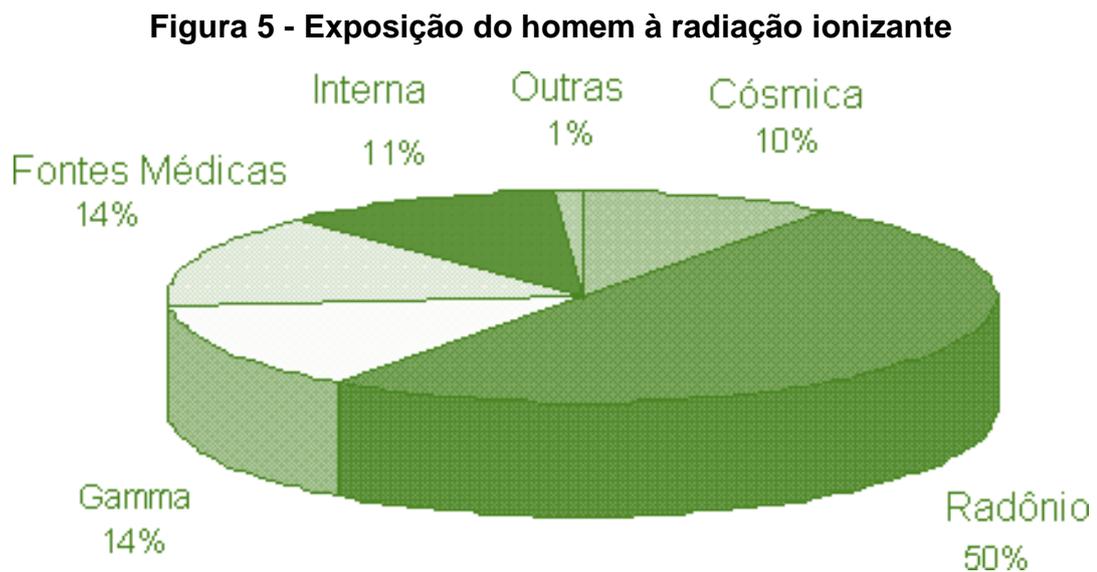
Fonte: adaptado UNSCEAR (2000).

A maioria dos elementos radioativos naturais apresenta um alto número atômico e pertence a três séries radioativas principais: a série do urânio-238, a série do tório-232 e a série do actínio-235. Essas séries decaem naturalmente, produzindo grupos de elementos radioativos com propriedades químicas e físicas diferentes e com uma ampla gama de meias-vidas. Quando inalados ou ingeridos, esses elementos radioativos podem contribuir significativamente para a dose de radiação na população. Além disso, os emissores gamma também podem causar exposição externa, contribuindo para um aumento na dose de radiação.

De acordo com dados da literatura, os elementos radioativos naturais contribuem com a maior parte da dose média anual proveniente da exposição às

radiações ionizantes. Além disso, a prática frequente de ações humanas pode alterar a composição química do solo ao longo do tempo, o que resulta na acumulação indesejada de radionuclídeos naturais, como  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$ , metais pesados e outros compostos em concentrações indesejáveis. Uma vez presente no solo, esses radionuclídeos e metais pesados se espalham, seja na solução do solo para serem absorvidos pelas plantas, seja pela deposição e adsorção na superfície das partes aéreas de culturas. Portanto, as culturas podem conter níveis variados de radionuclídeos, dependendo das características formativas do natureza do local (Santos,2002)

A importância dos estudos radioecológicos na análise dos efeitos socioambientais da exploração de recursos naturais é crucial, pois fornecem dados fundamentais sobre a distribuição e comportamento dos radionuclídeos, sejam eles provenientes de atividades humanas ou naturais. Na figura 5 é possível analisar a exposição de homem à radiação ionizante.



Fonte: Adaptado Patrícia (2007)

### 3.3. Níveis de radiação natural aceitos

Os estudos radioecológicos desempenham um papel crucial na avaliação dos impactos socioambientais decorrentes da exploração dos recursos naturais,

fornecendo informações essenciais sobre o comportamento dos radionuclídeos, sejam eles de origem antrópica ou natural. Esse conhecimento é fundamental para garantir a proteção radiológica e promover a avaliação da monitoração ambiental, que muitas vezes não considera adequadamente a presença desses elementos radioativos.

A radiometria é uma ferramenta importante para o controle das aplicações nucleares no mundo, permitindo a análise dos radionuclídeos antrópicos. Por outro lado, a avaliação dos radionuclídeos naturais ajuda na identificação de áreas com níveis elevados desses elementos primordiais. No contexto da radioecologia, os radionuclídeos naturais contribuem significativamente para a exposição humana à radiação ambiental, sendo responsáveis por mais de 70% da dose total de radiação proveniente de todas as fontes existentes (Pascholati *et al.*, 1997; IRD-CNEN, 2000).

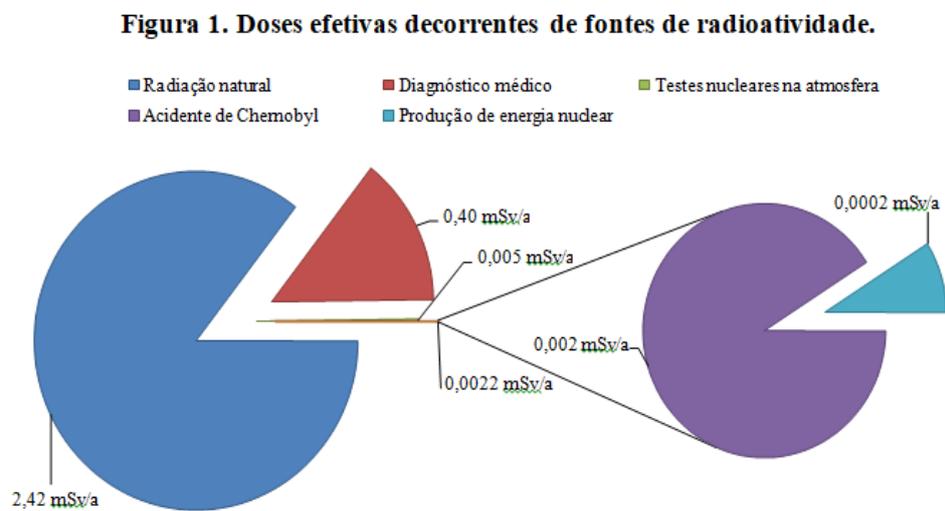
A monitoração ambiental desempenha um papel fundamental na avaliação dos riscos radiológicos, com o Comitê Científico da UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) estabelecendo um valor de referência de 2,42 mSv/a como a taxa média global de dose efetiva por pessoa. Esse valor varia de acordo com o ambiente avaliado, sendo maior em ambientes fechados, onde há maior probabilidade de incorporação dos radionuclídeos (UNSCEAR, 2008).

É essencial realizar uma avaliação abrangente do ambiente, considerando diferentes matrizes ambientais, compartimentos, dosimetria externa e interna, vias de transferência e incorporação dos radionuclídeos. A monitoração do ambiente externo é crucial para identificar possíveis anomalias e direcionar futuras pesquisas. Diante da importância dos estudos radioecológicos, é fundamental monitorar áreas com presença de radionuclídeos naturais, investigando seus comportamentos e interações com a população (UNSCEAR, 2008).

Os dados da UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) destacam as diversas fontes de exposição à radiação, incluindo acidentes nucleares, diagnósticos médicos e produção de energia nuclear, enfatizando a importância de compreender e controlar os riscos associados à presença de radionuclídeos no ambiente, com destaque para radiação de fundo natural, que apresenta taxa de dose efetiva média global de 2,42 mSv/a, variando

tipicamente entre 1 a 13 mSv/a e dependendo das circunstâncias, atingindo valores superiores a 20 mSv/a. Na figura 6 podemos observar as fontes e os níveis de radioatividade (UNSCEAR, 2008).

**Figura 6 - Doses efetivas decorrentes de fontes de radioatividade**



Fonte: (UNSCEAR, 2000).

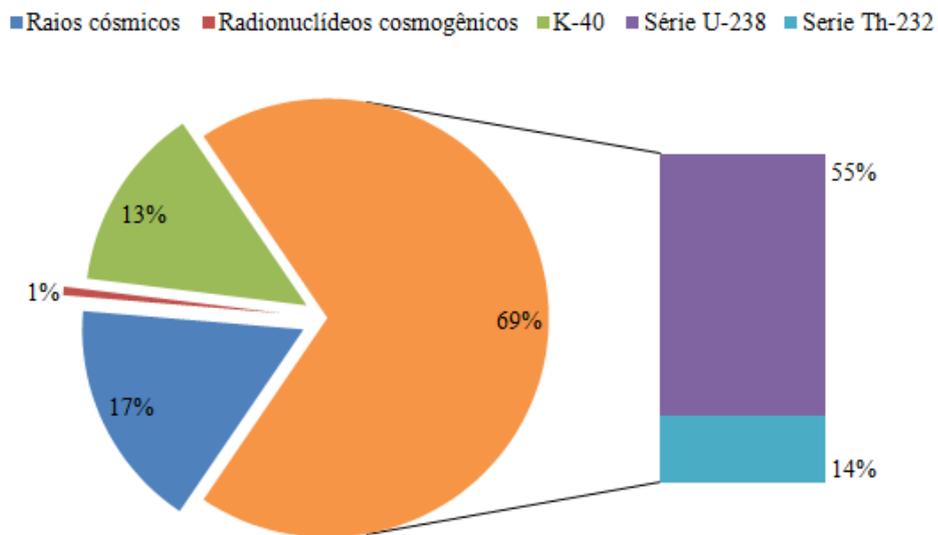
A Figura 6, podemos destacar as diferentes contribuições da radioatividade natural e antrópica para os seres humanos, com ênfase em controlar essas radiações por meio das doses efetivas ambientais médias das várias fontes de radiações ionizantes.

Segundo o UNSCEAR, (2000), a radiação natural provém principalmente das séries radioativas do  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ , e seus produtos de decaimento, juntamente com o  $^{40}\text{K}$ . O radônio e seus descendentes, em especial o  $^{222}\text{Rn}$  originado a partir do

$^{226}\text{Ra}$  da série do  $^{238}\text{U}$ , também contribuem de forma significativa para a exposição às fontes naturais de radiação.

A partir das de radioatividade natural, como mostra a figura 6, dada a diversidade desses radionuclídeos no planeta, é essencial monitorar, investigar e compreender sua distribuição em diferentes ambientes, a fim de assegurar a implementação de medidas de proteção radioecológica eficientes.

**Figura 7 - Contribuição da dose efetiva derivada das fontes de radioatividade natural**



Fonte: IAEA (2003).

Na Figura 7, os valores relativos das diferentes formas de exposição à radioatividade natural são apresentados, incluindo os raios cósmicos, os radionuclídeos cosmogênicos, o  $^{40}\text{K}$  e as séries radioativas naturais do  $^{238}\text{U}$  e do  $^{232}\text{Th}$ , juntamente com seus descendentes, especialmente os isótopos  $^{222}\text{Rn}$  e  $^{220}\text{Rn}$ , com destaque para o  $^{222}\text{Rn}$  (UNSCEAR, 2000).

Em termos absolutos, a série do  $^{238}\text{U}$  e seus descendentes, incluindo o  $^{222}\text{Rn}$ , contribuem com uma dose anual média global de aproximadamente 1,34

mSv, enquanto os descendentes da série do  $^{232}\text{Th}$ , incluindo-o, contribuem com cerca de 0,34 mSv/a, com diferenças devido às contribuições associadas aos isótopos de radônio mencionados anteriormente (UNSCEAR, 2000).

O  $^{40}\text{K}$  contribui sozinho com 13%, o que equivale a cerca de 0,32 mSv/a, próxima da contribuição da série do  $^{232}\text{Th}$ . A radiação cósmica, composta por raios cósmicos e radionuclídeos cosmogênicos, contribui em média com 18% dessa dose, resultando em uma taxa de dose efetiva média anual global de cerca de 0,40 mSv/a, que é significativa e supera a contribuição da série do  $^{232}\text{Th}$ . A forma de exposição à radiação ionizante por parte do ser humano é classificada em interna e externa ao organismo (UNSCEAR, 2000).

## **4. METODOLOGIA**

### **4.1. Importância da revisão bibliográfica**

A revisão de bibliográfica do presente estudo, foi desenvolvida através da metodologia dos Principais Itens a Relatar para Revisões Sistemáticas e Meta-Análises – PRISMA, onde é utilizado métodos sistemáticos e explícitos para identificar, selecionar e avaliar criticamente as pesquisas mais relevantes sobre o tema escolhido (Liberati *et al.*, 2009).

Em suma uma revisão sistemática é uma abordagem rigorosa e sistemática para a coleta, seleção e análise de estudos relevantes sobre um tema específico. Ela envolve a definição de critérios de inclusão e exclusão dos estudos, a busca em diferentes bases de dados, a avaliação da qualidade metodológica dos estudos incluídos e a síntese dos resultados obtidos. Já a meta-análise é uma técnica estatística que combina os resultados de vários estudos incluídos em uma revisão sistemática para gerar um resultado estatisticamente mais robusto e preciso.

Ela permite a quantificação do efeito de uma intervenção ou exposição em um desfecho específico, fornecendo uma estimativa do efeito médio e a avaliação de sua variabilidade.

O PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) é um conjunto de diretrizes que foi desenvolvido para melhorar a

qualidade e transparência na elaboração de revisões sistemáticas e meta-análises. Ele fornece um guia detalhado sobre as etapas e itens que devem ser incluídos em um relatório de revisão sistemática ou meta-análise, desde a formulação da pergunta de pesquisa até a apresentação dos resultados (Liberati *et al.*, 2009).

O questionamento norteador da pesquisa refere-se à necessidade de compreender e documentar a ocorrência da radioatividade natural dentro do estado de Pernambuco, desenvolvendo um estudo que possibilite a também a análise dos impactos dessa radioatividade presente em diversos elementos naturais e artificiais.

Dentro do período de pesquisa, janeiro de 2022 até novembro de 2022, foi realizada uma busca eletrônica nas seguintes bases de dados: ATTENA - Repositório Digital da UFPE, *IEEE Xplore*, *Portal periódicos da Capes* e *Web of Science* utilizando as palavras chaves “Radiation in Pernambuco” , “Natural Radiation”, “Pernambuco” , “Radioactive Levels”, nesta respectiva ordem, separados pelo operador booleano “AND”.

Logo em seguida foi realizada a pesquisa pelos artigos que se referissem a presença da radioatividade natural no estado e Pernambuco. A escolha das bases de dados se deu pela qualidade dos trabalhos publicados, pela seriedade do trabalho desenvolvido, pela importância e destaque no âmbito acadêmico, além de possuírem documentos entre periódicos, normas técnicas, anais de congressos e conferências (CAPES, 2021).

É importante destacar, que neste estudo, decidimos não utilizar a escala temporal como parâmetro de análise. O objetivo principal é avaliar a presença e os níveis de radiação natural no estado de Pernambuco, com foco na identificação das áreas mais afetadas.

A literatura revisada e os dados disponíveis concentram-se em medições pontuais e distribuições geográficas da radioatividade, sem a necessidade de incorporar variações temporais. Além disso, a análise temporal demandaria dados de longo prazo que não estão disponíveis ou são limitados para a nossa área de estudo.

Portanto, optamos por concentrar nossos esforços na análise espacial e na revisão sistemática dos dados disponíveis. Nossa abordagem, utilizando o método

PRISMA, foi suficiente para alcançar uma compreensão detalhada e precisa da distribuição da radiação natural na região, garantindo a relevância e a coerência do estudo.

## **4.2. Metodologia Prisma**

A Revisão Sistemática e a Meta-Análise são métodos fundamentais na pesquisa científica, especialmente nas ciências da saúde, ciências sociais e em diversas áreas da academia. O desenvolvimento e a padronização desses métodos foram impulsionados pelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), um guia que estabelece diretrizes para a realização e a apresentação de revisões sistemáticas e meta-análises (Lima *et al.*, 2021).

O PRISMA é um guia internacionalmente reconhecido que visa melhorar a qualidade e a transparência das revisões sistemáticas e meta-análises. Ele consiste em um checklist de itens que devem ser relatados em publicações de revisões sistemáticas e meta-análises, abrangendo desde a introdução até a discussão dos resultados. Os principais elementos incluem:

1. Introdução: Justificação da revisão sistemática, incluindo a formulação da pergunta de pesquisa.
2. Métodos: Descrição detalhada do protocolo de revisão, incluindo estratégias de busca, critérios de inclusão/exclusão, métodos de avaliação de qualidade e estratégias para a análise de dados.
3. Resultados: Apresentação dos estudos incluídos e síntese dos resultados, com dados quantitativos (se aplicável).
4. Discussão: Interpretação dos achados, limitações do estudo e implicações para a prática clínica ou futuras pesquisas.

Revisões sistemáticas e meta-análises desempenham um papel na produção das pesquisas em geral, e frequentemente servem como ponto de partida para o desenvolvimento de importantes pesquisas. Agências de fomento frequentemente solicitam revisões sistemáticas para avaliar a necessidade de novas pesquisas, enquanto alguns periódicos especializados também adotam essa prática. Como em qualquer pesquisa, o valor de uma revisão sistemática depende da metodologia

utilizada, dos achados descobertos e da clareza do relato. No entanto, a qualidade dos relatos de revisões sistemáticas pode variar, o que pode limitar a capacidade dos leitores de avaliar de forma precisa os pontos fortes e fracos desses estudos (Lima *et al.*, 2021).

O PRISMA foi desenvolvido para auxiliar os autores na melhoria do relato de revisões sistemáticas e meta-análises. Inicialmente focado em ensaios clínicos randomizados, o PRISMA pode servir como base para o relato de revisões sistemáticas de outros tipos de pesquisa, especialmente aquelas que avaliam intervenções. Além de auxiliar na redação, o PRISMA também pode ser utilizado na avaliação crítica de revisões sistemáticas já publicadas. No entanto, é importante ressaltar que o checklist PRISMA não se destina a ser um instrumento para avaliação da qualidade de uma revisão sistemática (Lima *et al.*, 2021).

A adesão ao PRISMA ajuda a garantir que as revisões sistemáticas e meta-análises sejam conduzidas de maneira transparente e rigorosa, facilitando a replicação e a avaliação crítica dos resultados. Em resumo, as revisões sistemáticas e meta-análises são ferramentas essenciais para a síntese da evidência científica, guiadas pelo PRISMA para assegurar alta qualidade e transparência na pesquisa (Lima *et al.*, 2021).

#### **4.3. Critérios de seleção, inclusão e exclusão de trabalhos.**

Após a leitura e análise dos artigos na íntegra, foram selecionados os principais artigos que abordavam a temática da pesquisa, ou seja, a presença de radioatividade natural no estado de Pernambuco, inicialmente através da leitura e análise dos resumos. Essa análise inicial foi utilizada para a sintetização qualitativa do estudo, utilizando um método de pesquisa que se concentra na compreensão aprofundada de um determinado fenômeno estudado, com ênfase na qualidade dos dados coletados.

O processo de busca nas bases de dados, resultou na seleção de artigos que foram dispostos em planilhas no Excel, os artigos passaram por um processo de filtragem, inclusão de notas e análise para verificar se atendiam aos critérios de elegibilidade, os resultados foram agrupados de acordo com os temas principais

abordados pelos artigos, como por exemplo: radiação em Pernambuco, radiação natural em Pernambuco, impactos da presença de diferentes níveis de radiação.

Após a análise na íntegra, os principais pontos estudados e abordados pelos autores foram selecionados e sintetizados qualitativamente, visando obter uma visão geral dos dados levantados durante a pesquisa, essa visão geral foi utilizada para embasar as conclusões do estudo.

No decorrer das buscas, optou-se por restringir a procura das palavras-chave citadas anteriormente nos campos do título, resumo ou palavras-chave especificadas pelo autor, com a finalidade de se obter resultados mais refinados, porém a busca não se limitou pela localização das palavras-chave no texto.

Durante a busca, não foram excluídos artigos por idioma, porém foi utilizado o filtro para artigos de revisão e artigos de pesquisa, excluindo publicações no formato de capítulos de livros, resumos de artigos e artigos de congressos. Portanto, é possível que algumas pesquisas relevantes possam ter sido excluídas do escopo desta revisão devido aos critérios de exclusão adotados. Além disso, se diferentes palavras-chave foram utilizadas em outros processos de busca, isso pode levar a resultados diferentes e, portanto, a estudos diferentes dos que foram incluídos nesta revisão.

É importante notar que nenhuma revisão sistemática é capaz de incluir todos os estudos relevantes disponíveis, e sempre há o risco de viés na seleção dos artigos. Portanto, ao interpretar os resultados desta revisão, é importante considerar essas limitações e reconhecer que ainda podem existir estudos não incluídos nesta análise.

#### **4.4. Caracterização geográfica da área de estudo**

O estudo abrangeu todo o Estado de Pernambuco, que está situado na região Nordeste do Brasil e possui uma área territorial de 98.067,877km<sup>2</sup>. Segundo dado do IBGE de 2022, Pernambuco é conhecido por suas três regiões fisiográficas: Litoral-Mata, Agreste e Sertão (IBGE, 2022).

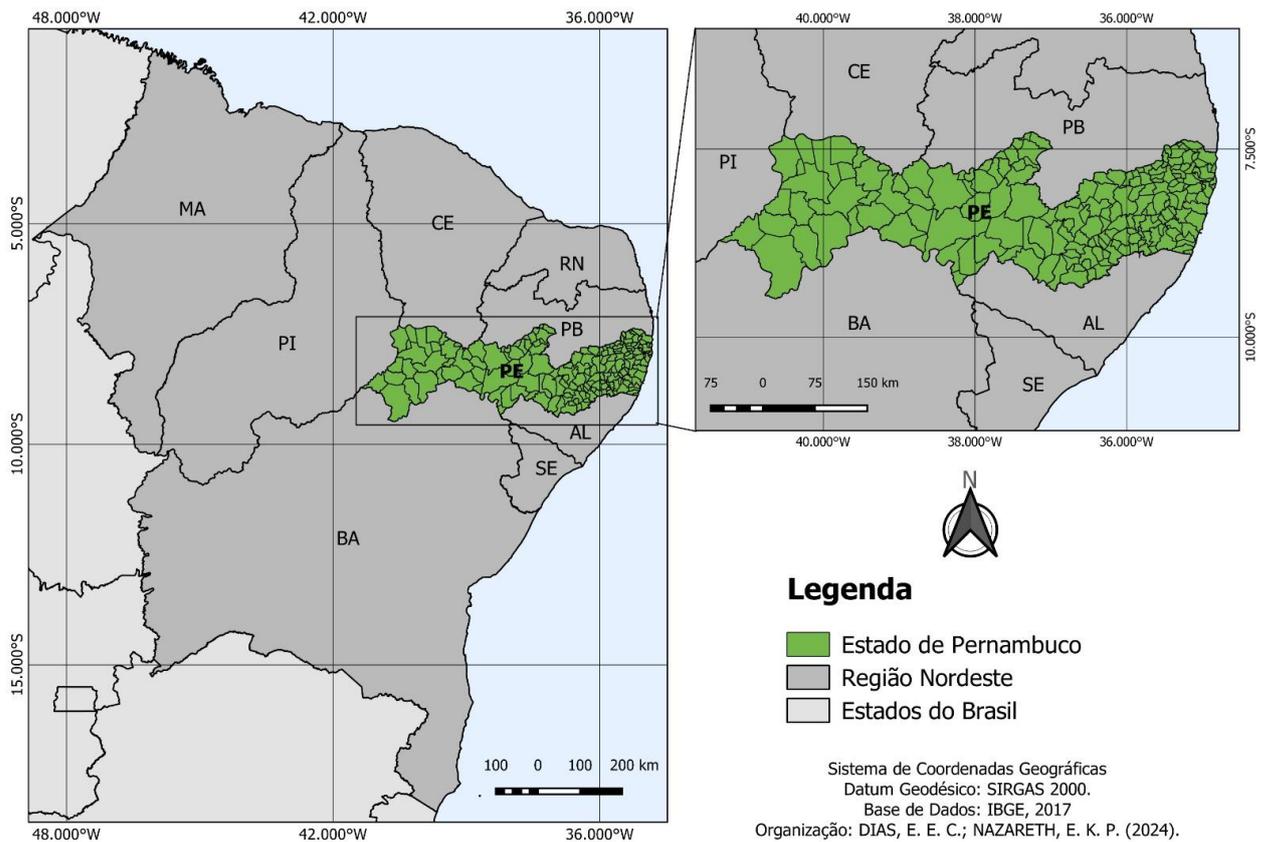
Além disso, o estado é dividido em doze regiões de desenvolvimento: Mata Norte, Mata Sul, Metropolitana, Agreste Setentrional, Agreste Central, Agreste Meridional, Moxotó, Itaparica, Pajeú, Sertão Central, Araripe e São Francisco. Possui uma população residente de 9.058.931 pessoas, o que o torna o sétimo estado mais populoso do país. Sua capital é a cidade de Recife, que também é a cidade mais populosa do estado (IBGE, 2022).

O estado de Pernambuco está dividido em 185 municípios. Segundo a divisão regional do Brasil em regiões intermediárias, proposta pelo IBGE, em 2017, o estado conta com quatro regiões geográficas intermediárias: Petrolina, Serra Talhada, Caruaru e Recife (IBGE, 2022).

Sendo uma das unidades federativas do Brasil, Pernambuco faz divisa com os estados da Paraíba, Ceará, Alagoas, Bahia e Piauí, além de ser banhado pelo oceano Atlântico. O estado inclui os arquipélagos de Fernando de Noronha e de São Pedro e São Paulo (IBGE, 2022).

Sua capital é a cidade do Recife, onde se encontra o Palácio do Campo das Princesas, sede administrativa do estado, possui 185 municípios, como apresenta a figura 8 (IBGE, 2022).

### **Figura 8 - Mapa de Pernambuco**



O relevo pernambucano é marcado pela presença de planícies litorâneas, com extensas áreas de manguezais, além de planaltos e serras no interior do estado. Destaca-se a Serra da Borborema, que divide o estado entre o litoral e o interior, estendendo-se pelos estados da Paraíba, Pernambuco e, em menor grau, pelo Rio Grande do Norte, essa serra é uma das principais formações geológicas da região e desempenha um papel significativo na configuração do relevo nordestino.

Destaca-se também a Depressão Sertaneja, que é uma sub-região do semiárido nordestino, caracterizada por relevo predominantemente plano ou suavemente ondulado, com solos rasos, pedregosos e cobertos pela vegetação de caatinga. Compreende partes dos estados da Bahia, Pernambuco, Piauí, Paraíba, Alagoas, Ceará e Rio Grande do Norte.

A região litorânea, uma região costeira localizada no estado de Pernambuco, no Nordeste do Brasil, e é conhecida por suas belas praias, biodiversidade e importância econômica e ambiental, que impacta diretamente na prática do turismo.

O clima em Pernambuco é predominantemente tropical, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano. No entanto, a região do Sertão, localizada no interior do estado, é marcada por um clima semiárido, com longos períodos de estiagem.

Diversos estudos têm apontado que a radiação natural em Pernambuco é influenciada por fatores geológicos, climáticos e geográficos. A presença de minerais radioativos no solo pode contribuir para a emissão de radiação ionizante, que possui a capacidade de ionizar átomos e moléculas quando interage com a matéria. Além disso, a proximidade do estado com o a linha do Equador também pode influenciar na quantidade de radiação solar recebida, aumentando ainda mais a exposição da população.

No território Pernambucano, apesar da interessante estrutura geológica, ainda não foi suficientemente explorado em termos de estudos radiológicos ambientais, porém diversos estudos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de localizar e quantificar os níveis dessa radiação natural existente. No período de 1974 a 1977 as Empresas Nucleares Brasileiras S.A. (NUCLEBRAS) descobriram ocorrências de metais pesados no Agreste de Pernambuco, dando início as análises ambientais referentes a presença e radiação natural, estudos realizados por pesquisadores da área de radioproteção têm monitorado a radiação natural em diversas regiões de Pernambuco, utilizando equipamentos especializados para medir os níveis de radiação ionizante, estes estudos têm demonstrado a presença de radiação natural no estado.

A radiação ambiental é parte natural do ambiente, pois está presente na atmosfera e na superfície da Terra (SAVANNAH, 1996), porém existe um grande risco dos níveis de metais pesados serem elevados e estarem acima dos níveis aceitos pela OMS (Organização Mundial da Saúde) e pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

As características da radiação natural em Pernambuco são influenciadas por diversos fatores e têm sido objeto de estudo por parte da comunidade científica. A realização de pesquisas nesta área é essencial para compreender os riscos envolvidos e desenvolver estratégias para garantir a proteção da população e do ambiente diante da exposição à radiação natural.

Diante disso, é importante ressaltar que a radiação natural pode apresentar variações em diferentes locais de Pernambuco, sendo necessário um monitoramento contínuo para garantir a segurança da população. Além disso, é fundamental que medidas de prevenção e controle sejam implementadas para minimizar os possíveis impactos da radiação no meio ambiente e na saúde das pessoas

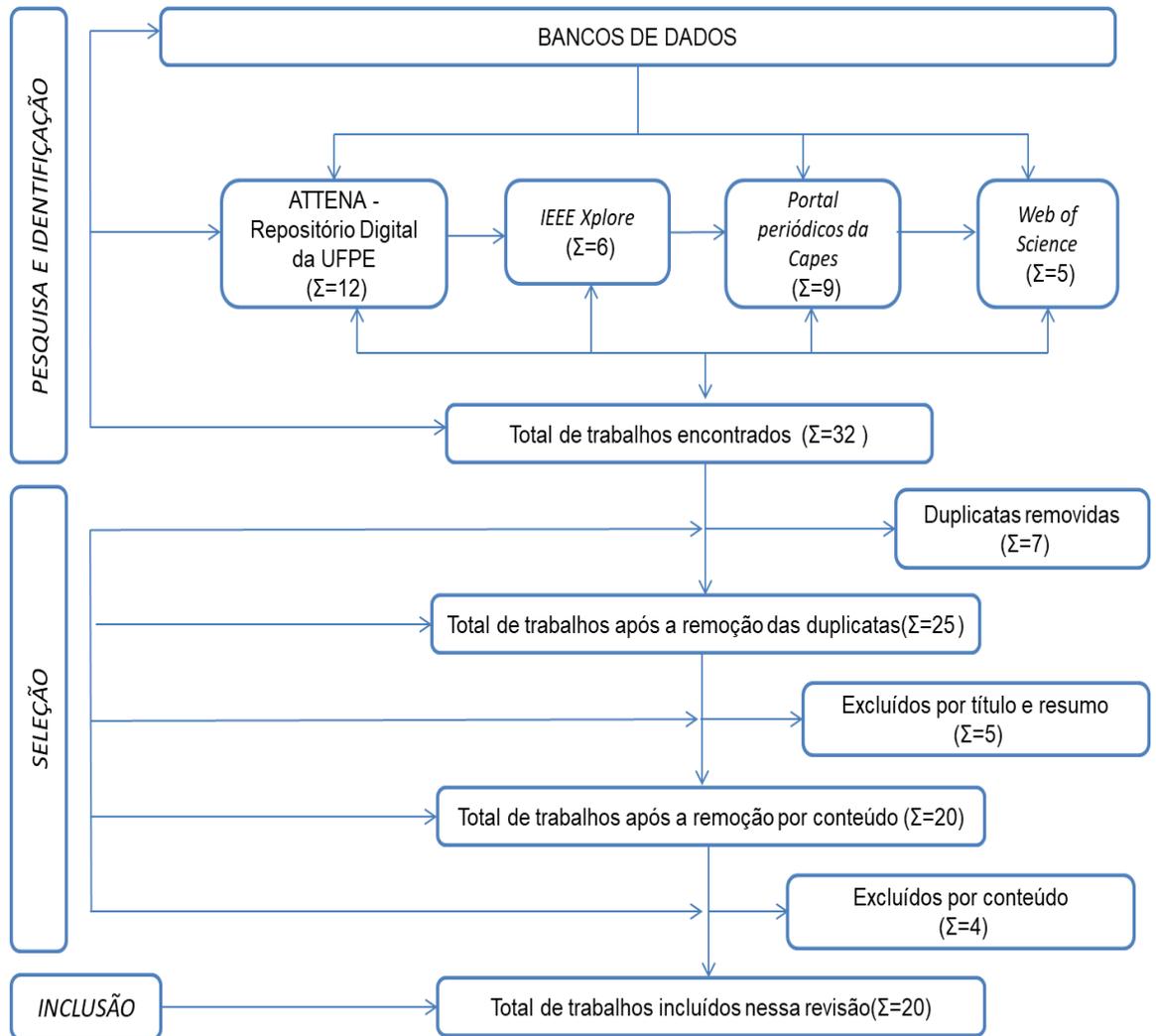
## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Após a pesquisa realizada utilizando método prisma, foram encontrados nas bases de dados trabalhadas um total de 32 artigos científicos, onde 12 se

localizavam na base ATTENA - Repositório Digital da UFPE, 6 no *IEEE Xplore*, 9 *Portal periodicos da Capes* e 5 no *Web of Science*.

Durante a análise, 7 artigos foram excluídos por duplicidade, 5 foram removidos por título e resumo, por não apresentarem conteúdo referente a temática de pesquisa, mesmo tendo algumas palavras-chave nos títulos ou resumos, fugia da pesquisa central do trabalho, 4 foram removidos por conteúdo, onde inicialmente aparentavam ser diretamente ligados a temática da pesquisa porém ao aprofundar a leitura foi identificada a divergência na temática. Por fim, 20 artigos foram utilizados para a revisão, como descrito na Figura 9.

**Figura 9 - Fluxograma da seleção dos artigos para a revisão baseado no Método PRISMA**



Fonte: Autora (2024)

### 5.1. Levantamento bibliográfico das áreas anômalas

Através do levantamento bibliográfico, promovendo a análise e o estudo dos trabalhos selecionados, foi possível identificar e destacar as seguintes áreas:

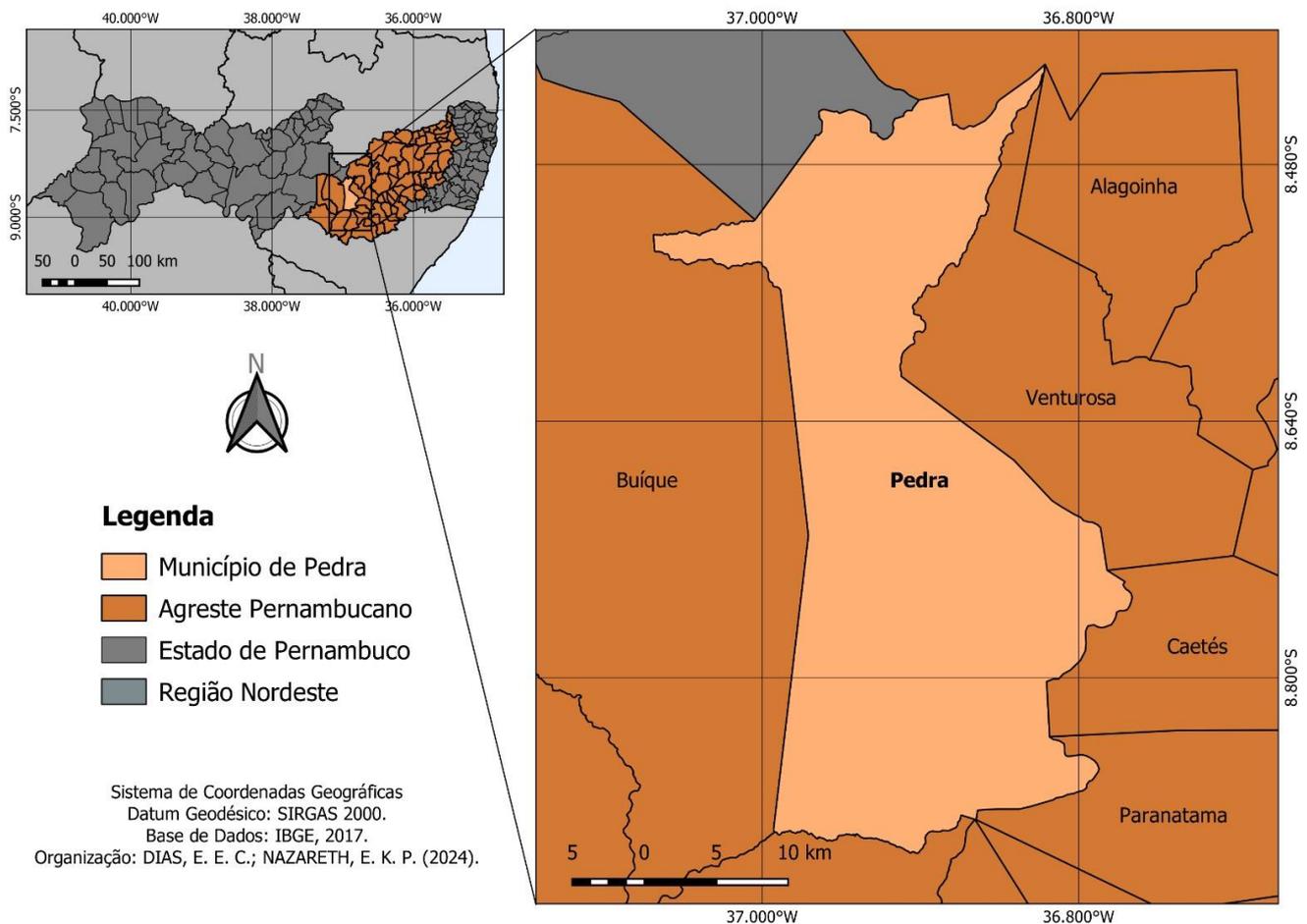
#### 5.1.1. Pedra

O município de Pedra-PE, localizado na mesorregião Agreste e na Microrregião Vale do Ipanema do Estado de Pernambuco, limitando-se a norte com Pesqueira e Arcoverde, a sul com Águas Belas, a leste com Venturosa, Paranatama e Caetés, e a oeste com Buíque, sua área municipal ocupa 848,8 km<sup>2</sup> e representa 0,86 % do território do Estado de Pernambuco, com uma população estimada em

20.567 habitantes, seus setores de atividade econômica formais são: comércio, serviços, administração pública, agropecuária, caça e pesca.

Com uma altitude aproximada de 593 metros e coordenadas geográficas, a partir da sua sede, de 08o 29' 49'' de latitude sul e 36o 56' 27'' de longitude oeste, cujo acesso é feito pela BR-232 e PE217, a área está localizada a 275 km do Recife (IBGE,2012).

**Figura 10 – Representação geográfica do município de Pedra – PE**



O município está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, formada por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 metros, ocupando uma área de arco que se estende do sul de Alagoas até o Rio Grande do Norte.

O relevo é geralmente movimentado, com vales profundos e estreitos dissecados, com a fertilidade dos solos bastante variada, com certa predominância de média para alta, a vegetação desta unidade é formada por Florestas

Subcaducifólica e Caducifólica, próprias das áreas agrestes, é recortada por rios perenes, porém de pequena vazão e o potencial de água subterrânea é baixo, o clima é do tipo Tropical Chuvoso, com verão seco.

A estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo se adiantar até outubro. Nas Superfícies suave onduladas, ocorrem os Planossolos, medianamente profundos, fortemente drenados, ácidos a moderadamente ácidos e fertilidade natural média e ainda os Podzólicos, que são profundos, textura argilosa, e fertilidade natural de média a alta. Nas elevações ocorrem os solos Litólicos, rasos, textura argilosa e fertilidade natural média, nos vales dos rios e riachos, ocorrem os Planossolos, medianamente profundos, imperfeitamente drenados, textura média/argilosa, moderadamente ácidos, fertilidade natural alta e problemas de sais.

Ocorrem ainda grandes afloramentos rochosos, e ainda elevados níveis de urânio natural, encontrados nas rochas, vegetações, e na atmosfera, o que chamou a atenção para estudos em relação as quantidades de U encontradas, o que virou objeto de estudo para a pesquisa aqui apresentada, buscando entender e descobrir a principal origem, as influências, forma, tipo de propagação e possíveis consequências.

De acordo com o levantamento bibliográfico, as pesquisas desenvolvidas, nesse território apontam a existência de diversos elementos radiativos entre eles se destacam: Urânio (U), Rádio (Ra), Potássio (K), Lantânio (La), Cério (Ce), Neodímio (Nd), Samário (Sm), Európio (Eu) Itérbio (Yb), Lutécio (Lu), Escândio (Sc), Térbio (Tb) e Tório (Th).. Foram analisados cerca de 35 pontos e os níveis foram mensurados a partir da coleta de materiais rochosos de diferentes granulometrias utilizando o sistema de espectrometria gama em laboratório para analisar a presença e os níveis desses elementos radioativos (Bezerra, 2011; Araújo, 2005; Kennedy, 2013; Araújo, 2009).

As atividades de U, K e Ra presentes no solo são originárias de sedimentos rochosos anômalos, visto que não há outra fonte na região estudada. A disparidade nas concentrações destes radionuclídeos no solo se deve à maior capacidade de mobilidade do  $^{238}\text{U}$ .

Devido aos níveis elevados de urânio, este e seus produtos de decaimento estão amplamente dispersos devido aos processos de intemperismo, com a

interferência humana sendo insignificante, as rochas também apresentam maiores concentrações específicas de radionuclídeos presentes nas amostras de rochas e de solo como sendo das séries do  $^{238}\text{U}$ , do  $^{232}\text{Th}$  e o  $^{40}\text{K}$ , os mais expressivos são o  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  que ultrapassam quarenta e três vezes os limites recomendados para indivíduos do público, já o  $^{40}\text{K}$ , apresenta níveis muito baixos, que não são significativos para anomalia. O estudo da distribuição desses radionuclídeos pode possivelmente auxiliar na demarcação de áreas restritas para atividades agrícolas. (Araújo, 2005; Araújo, 2009)

Em relação aos Elementos Terras Raras (ETR), que se refere a um grupo de 17 elementos químicos da tabela periódica, e embora esses elementos sejam chamados de "raros", eles não são necessariamente mais raros na crosta terrestre do que muitos outros elementos, mas são chamados assim devido à dificuldade de extraí-los e ao fato de que geralmente ocorrem em baixas concentrações e estão frequentemente associados a minerais complexos. identificados na área de estudo,

As concentrações mais significativas dos ETRs foram observadas em Lantânio (La), Cério (Ce), Neodímio (Nd), as quais superam consideravelmente as médias da crosta terrestre, em cerca de 12 vezes, e as médias globais relatadas na literatura, em até 4,6 vezes.

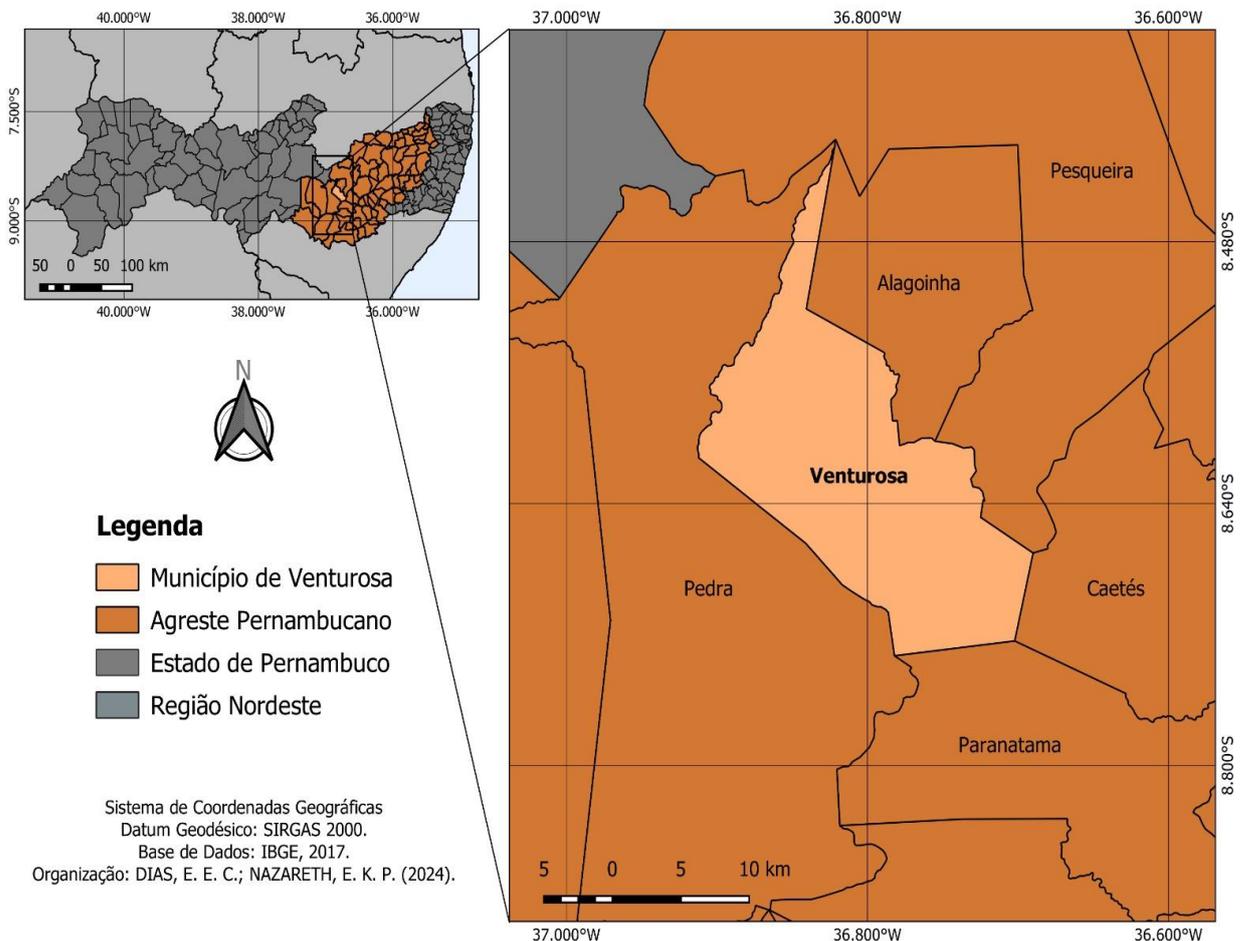
Os demais ETR apresentaram um comportamento semelhante ao encontrado no planeta. A discrepância estatística dos conjuntos de dados dos ETR, observada tanto nas amostras ambientais analisadas, indica que a distribuição desses elementos na área de estudo é heterogênea, e sugere a presença de anomalias em alguns deles (mais especificamente Ce e Nd) (Kennedy, 2013).

Durante a monitorização da área, realizou-se uma análise radiométrica, focando principalmente nos variados blocos de rochas expostas na região, a prioridade para a coleta de amostras foi dada às áreas que não apresentavam obstáculos, tais como densas vegetações, construções humanas, solo muito perturbado, ou seja, preferencialmente, locais com poucas interferências causadas pela ação humana, os elementos encontrados variam em quantidade e em taxa de radiação

#### 5.1.2. Venturosa

Localizada no Agreste pernambucano, Venturosa é uma cidade que encanta por suas paisagens naturais e sua rica história. Com uma área de aproximadamente 266 km<sup>2</sup>, o município possui uma população estimada em cerca de 20 mil habitantes. Venturosa é cortada pelo Rio Ipanema, que proporciona belas paisagens e é fundamental para o abastecimento de água da região (IBGE, 2012)

**Figura 11 Representação geográfica de Venturosa – PE**



Além disso, a cidade conta com uma vegetação típica do agreste, com áreas de mata ciliar e vegetação semiárida, que conferem um aspecto único e peculiar à paisagem local. O clima é bastante característico da região, com períodos de chuva concentrados no inverno, seguidos por uma estação seca que predomina durante o restante do ano. As temperaturas costumam ser elevadas, mas a presença do Rio Ipanema e das áreas verdes ajuda a amenizar o calor (IBGE, 2012).

Em 1977, a NUCLEBRAS iniciou o Projeto Venturosa - Avaliação de Áreas, que resultou na necessidade de uma sondagem geológica. Em 1978, foi realizado o Projeto Venturosa - Sondagem e Perfilagem.

Durante o projeto Garanhuns, foram identificadas anomalias radioativas em fazendas produtoras de leite entre os municípios de Pedra e Venturosa, próximas ao Rio Ipanema. Foram encontrados blocos rolados de rocha máfica, com altos teores de Urânio (U) e Tório (Th) (Costa *et al.*, 1976).

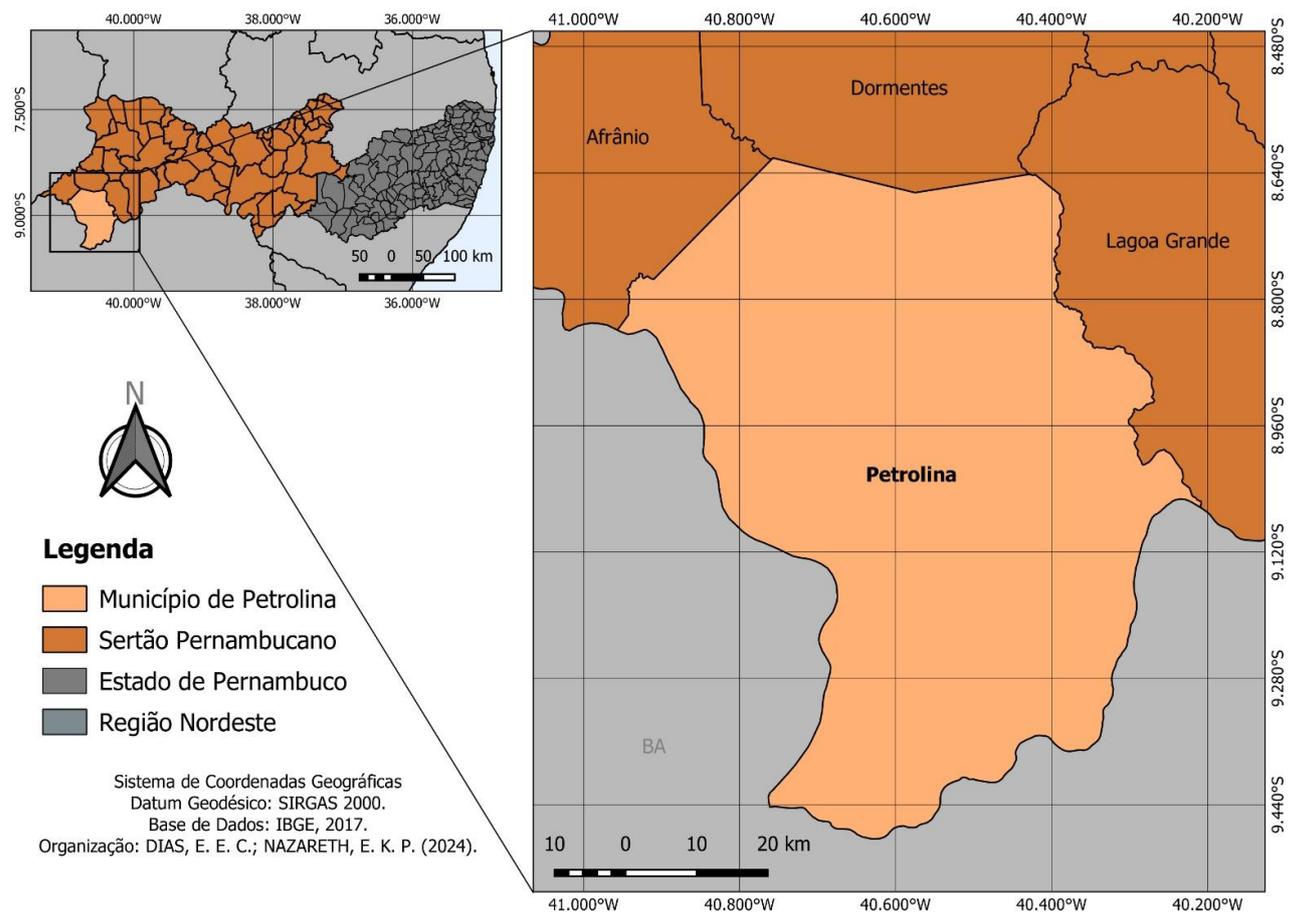
Em outros projetos mais recentes foram coletadas novamente amostras de sedimentos rochosos no município de Venturosa, e foi observado novamente a presença de anomalias naturais de urânio e tório, resultando em taxas de dose de radiação gama natural que excedem em mais de quarenta e três vezes os limites recomendados para o público em geral (Araújo, 2009).

Nesse sentido, é imprescindível a implementação de medidas regulatórias e preventivas para proteger os habitantes locais dos potenciais efeitos nocivos da exposição à radiação.

### 5.1.3. Petrolina

Petrolina é um município no estado de Pernambuco, no Brasil, e é o terceiro mais populoso do estado. Está localizado a uma distância de 712 km da capital, Recife. Com uma população de 386.791 habitantes de acordo com o censo de 2022, é o principal centro urbano do Sertão pernambucano e o décimo-terceiro maior do Nordeste, sendo também a terceira maior cidade do interior da região e a 65ª do país. Petrolina está situada às margens do rio São Francisco, na divisa com o estado da Bahia. Ela faz parte da região administrativa integrada de desenvolvimento do Polo Petrolina e Juazeiro, a maior região integrada de desenvolvimento do interior do Nordeste. Há uma conurbação com o município baiano de Juazeiro, no qual faz fronteira (IBGE, 2012).

## **Figura 12 - Representação geográfica de Petrolina –PE**



O município apresenta uma área de 4 561,87 km<sup>2</sup>, sendo o mais extenso de Pernambuco, e está localizado a 09° 23' 55" de latitude sul e 40° 30' 03" de longitude oeste, a 712 km a oeste da capital estadual, Afaz divisa ao norte com Dormentes, ao sul com o estado da Bahia (Juazeiro), a leste com Lagoa Grande e a oeste com Afrânio e novamente o estado da Bahia (Casa Nova). O município está situado na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, que possui as características principais do semiárido nordestino (IBGE,2012).

O relevo é caracterizado por uma superfície plana, predominantemente suave-ondulada, com vales estreitos e vertentes em forma de desfiladeiros. Também existem elevações residuais e cristas com ou sem colinas ao longe. Esse tipo de relevo evidencia os fortes processos de erosão que ocorreram no sertão nordestino. A altitude média da cidade principal do município é de 376 metros acima do nível do mar (IBGE,2012).

A região do Vale do São Francisco, localizada no nordeste do Brasil, tem se destacado como uma importante área de produção de vinho, tanto a nível nacional quanto internacional. Sua característica única de possuir um clima com variação intra-anual proporciona uma ampla gama de possibilidades para a produção de diversos produtos de alta qualidade. Estudos realizados na região demonstram que os solos agricultáveis podem conter radionuclídeos de origem natural, é o que acontece em Petrolina, que apresenta elementos como o urânio (SAAD, 2004).

Pesquisas mais recente também indicam a presença significativa desses elementos radioativos, sendo especificamente o  $^{238}\text{U}$  o radionuclídeo com as maiores concentrações, acima dos padrões estabelecidos pela UNSCEAR. O  $^{226}\text{Ra}$  e o  $^{40}\text{K}$  também foram identificados em quantidades consideráveis, com o  $^{226}\text{Ra}$  excedendo os limites recomendados, enquanto o  $^{40}\text{K}$  mantém-se dentro dos padrões estabelecidos pela UNSCEAR (Silveira,2007).

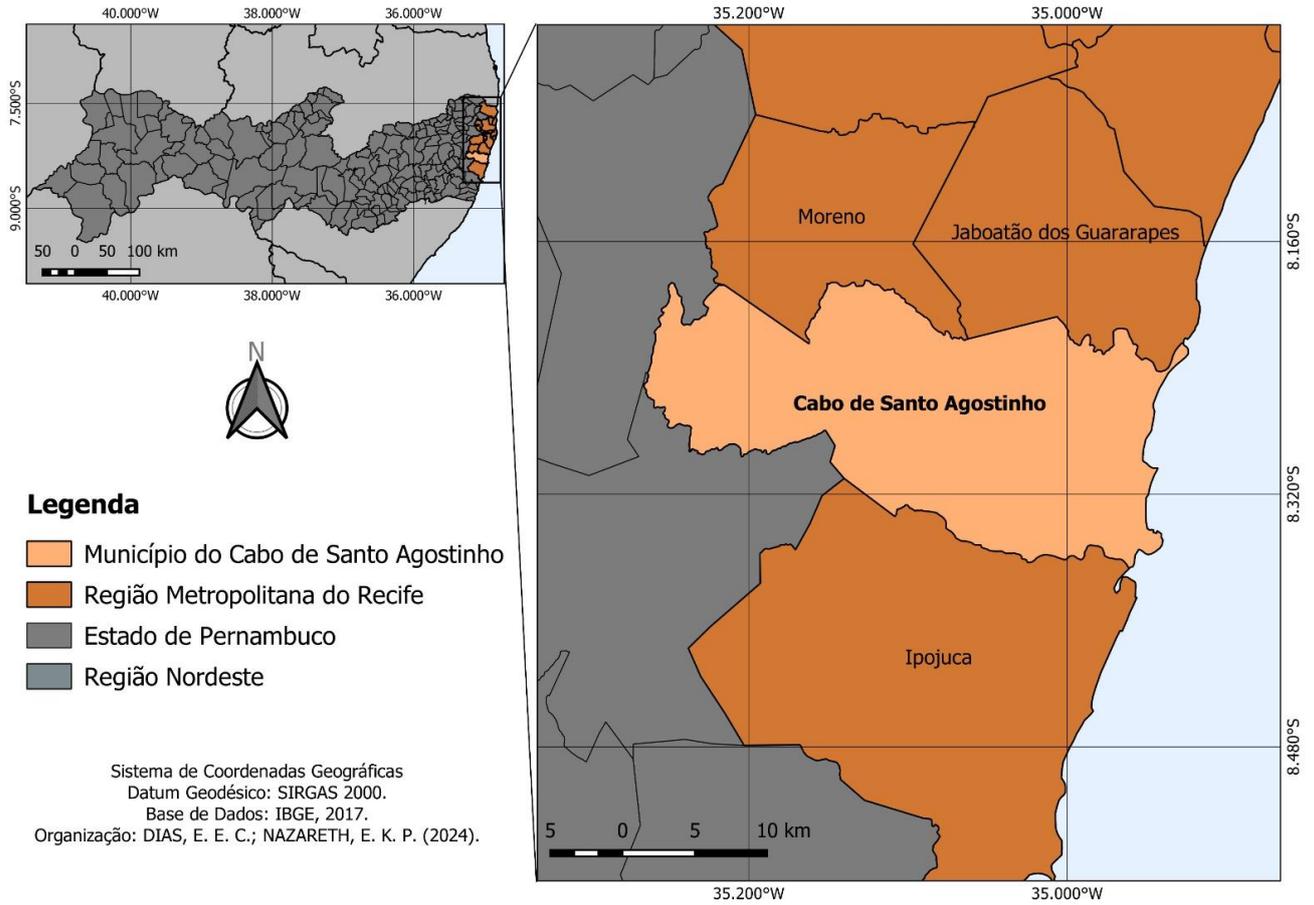
#### 5.1.4. Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca

De acordo com o IBGE (2012), a extensão territorial do município de Cabo de Santo Agostinho é de 448,735 km<sup>2</sup>, com uma taxa de urbanização de 90,68%. Ele ocupa o segundo lugar em área territorial na Região Metropolitana do Recife, ficando atrás apenas de Ipojuca. “Sua localização é de 08°17'12” de latitude sul e 35°02'06” de longitude oeste, com uma altitude de 29 metros. Está localizado a apenas 33 km da capital pernambucana, entre os municípios de Jaboatão dos Guararapes ao norte, Ipojuca ao sul, e Escada e Vitória de Santo Antão a oeste.

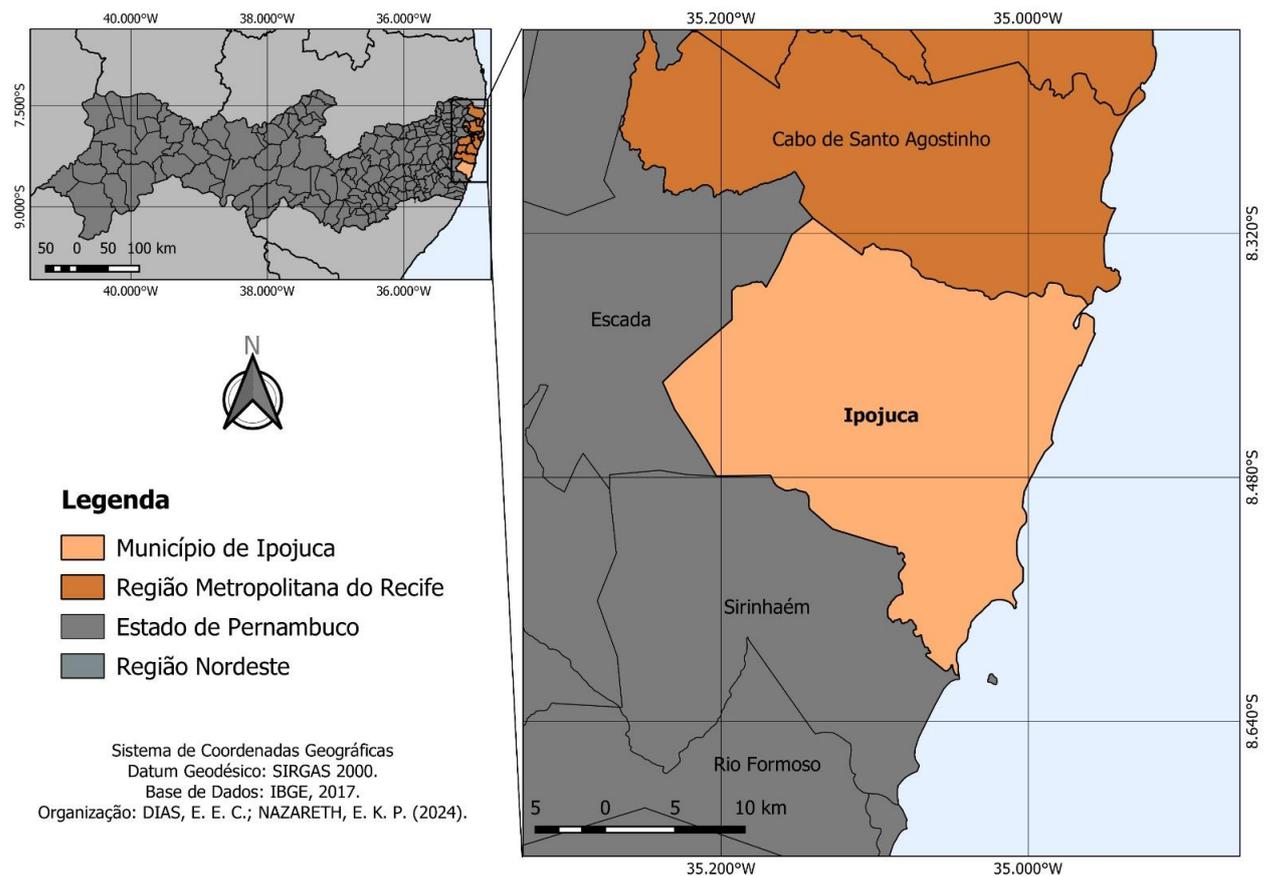
Ipojuca está situada a 08°23'56" de latitude sul e 35°03'50" de longitude oeste, a uma elevação de 10 metros. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a cidade possui uma população estimada em 87.926 habitantes no ano de 2013 (IBGE, 2012)

A área analisada localiza-se na região do Porto de Suape, como mostra a figura 13, situada na costa sul de Pernambuco, nas cidades do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, nas coordenadas 8°20'00"S e 8°29'00"S de latitude e 34°56'30"W e 35°03'00"W de longitude, aproximadamente a 40 km de distância de Recife.

**Figura 13 - Representação geográfica do Cabo de Santo Agostinho- PE**



**Figura 14 Representação geográfica de Ipojuca –PE**



O local é atravessado por vários rios (Tatuoca, Masangana, Ipojuca e Merepe) e riachos, com maior presença ao sul do cabo de Santo Agostinho. O acesso é pela BR-101 Sul, no município do Cabo de Santo Agostinho, seguindo a rodovia estadual PE-060 (Carneiro, 2011).

O Porto de Suape, também chamado de Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros, é um importante porto localizado em Pernambuco, entre os municípios de Ipojuca e Cabo de Santo Agostinho, na Região Metropolitana do Recife. É o maior porto público do Nordeste e está em quinto lugar no ranking nacional de portos. Dentro do contexto de presença de elementos radioativos a região apresenta níveis de radiação natural significativa segundo a UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation).

Neste cenário, estudos desenvolvidos nessa área, analisaram as quantidades de Urânio (U), Potássio (K), Tório (Th), Rádio (Ra) e Chumbo (Pb) presentes em amostras de solo, sedimentos, peixes e folhas de mangue coletadas ao longo dos rios Ipojuca, Massangana e Tatuoca na Região Estuarina do Complexo Industrial de

SUAPE, em Pernambuco. As amostras de solo analisadas demonstraram concentrações médias de  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  superiores aos limites recomendados pela UNSCEAR. Além disso, níveis de  $^{226}\text{Ra}$  foram identificados em três amostras como significativamente alterados, mesmo em áreas consideradas não impactadas. As altas concentrações de  $^{210}\text{Pb}$  em amostras de solo sugerem a necessidade de investigar a fonte dessa contaminação. Da mesma forma, uma amostra de  $^{40}\text{K}$  apresentou valores elevados, embora este radionuclídeo não seja tradicionalmente considerado relevante em termos de radiotoxicidade (Carneiro,2016).

Já análise de sedimentos revelou valores acima dos limites estabelecidos pela UNSCEAR para  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{210}\text{Pb}$ , indicando a importância de identificar a origem desses radionuclídeos. Além disso, a presença de  $^{226}\text{Ra}$  acima dos níveis esperados em quatro amostras requer investigação, mesmo em áreas consideradas livres de interferência antropogênica. As concentrações de  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  e  $^{210}\text{Pb}$  em amostras de peixes e folhas de mangue excedem os níveis considerados naturais pela UNSCEAR (Carneiro,2016).

#### 5.1.5. Carne de Vaca e Ponta de Pedras

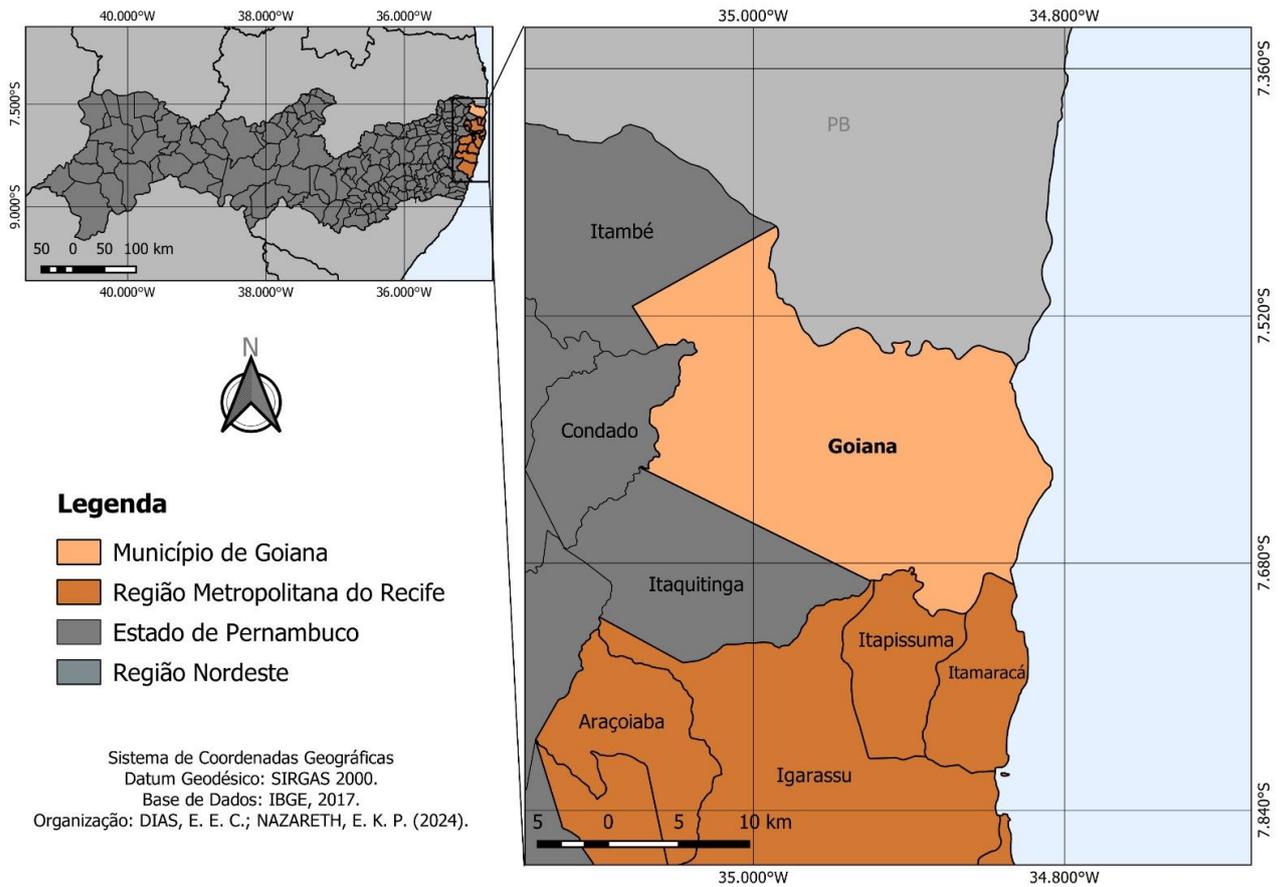
Carne de Vaca e Ponta de Pedras são duas praias localizadas no estado de Pernambuco, no município de Goiana. De acordo com o IBGE,2012, essas praias fazem parte da região turística do Litoral Norte, que é conhecida por suas belezas naturais e tranquilidade. As praias de Carne de Vaca e Ponta de Pedras, localizadas no litoral de Pernambuco, apresentam características geográficas e geoespaciais distintas.

Carne de Vaca possui uma extensão de areia mais ampla, com uma faixa de restinga e vegetação de manguezal em suas proximidades, enquanto Ponta de Pedras é caracterizada por formações rochosas e recifes que delimitam a sua orla marítima. Do ponto de vista econômico, ambas as praias são importantes para o turismo local, sendo destinos procurados por turistas em busca de paisagens naturais preservadas e atividades de lazer aquáticas.

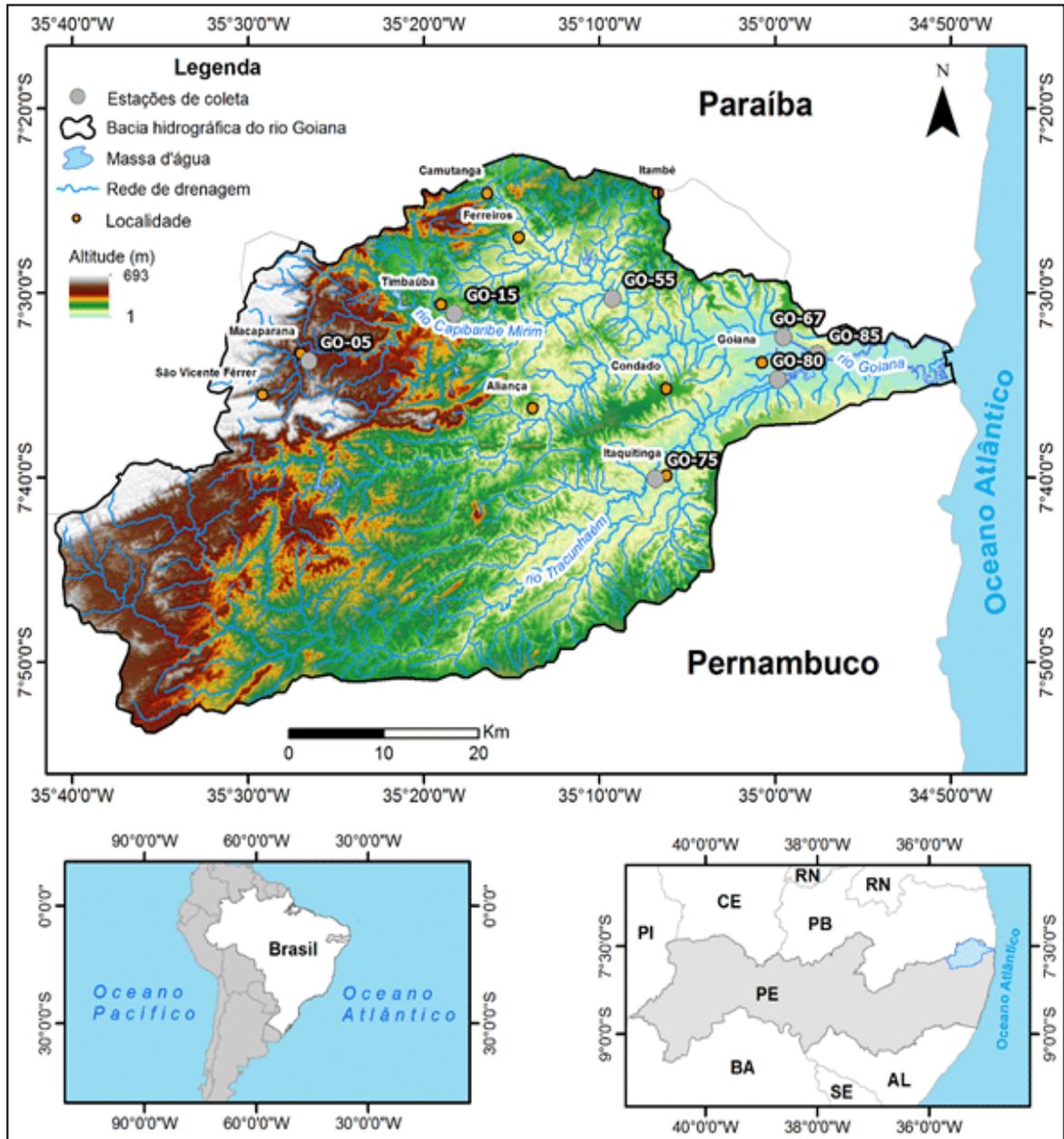
No que diz respeito às características radiológicas, a literatura aponta a existência desses elementos dentro da área representada pela figura 15, situada no

estuário do Rio Goiana, abrangendo as praias de Carne de Vaca e Ponta de Pedras – PE. O sistema estuarino está situado no extremo norte do Estado de Pernambuco, limite com a Paraíba e entre os e paralelos 7° 32' e 7° 35' latitude sul e os meridianos 34° 50' e 34° 58' longitude oeste (França,2013).

**Figura 15 - Representação geográfica de Goiana – PE**



**Figura 16 - Localização da área no estuário do Rio Goiana**



Fonte: JÚNIOR (2021)

A análise e o levantamento dos estudos radiológicos foram desenvolvidos a partir da coleta de sedimentos nos leitos sedimentares das praias com maiores concentrações de minerais pesados abordados na literatura, através da técnica da Espectrometria Gama *in situ*. Como resultado encontrou-se em diferentes níveis a presença de Tório (Th) e Urânio (U), ambos são metais radioativos e possuem propriedades semelhantes devido à sua posição na tabela periódica (Franca, 2013).

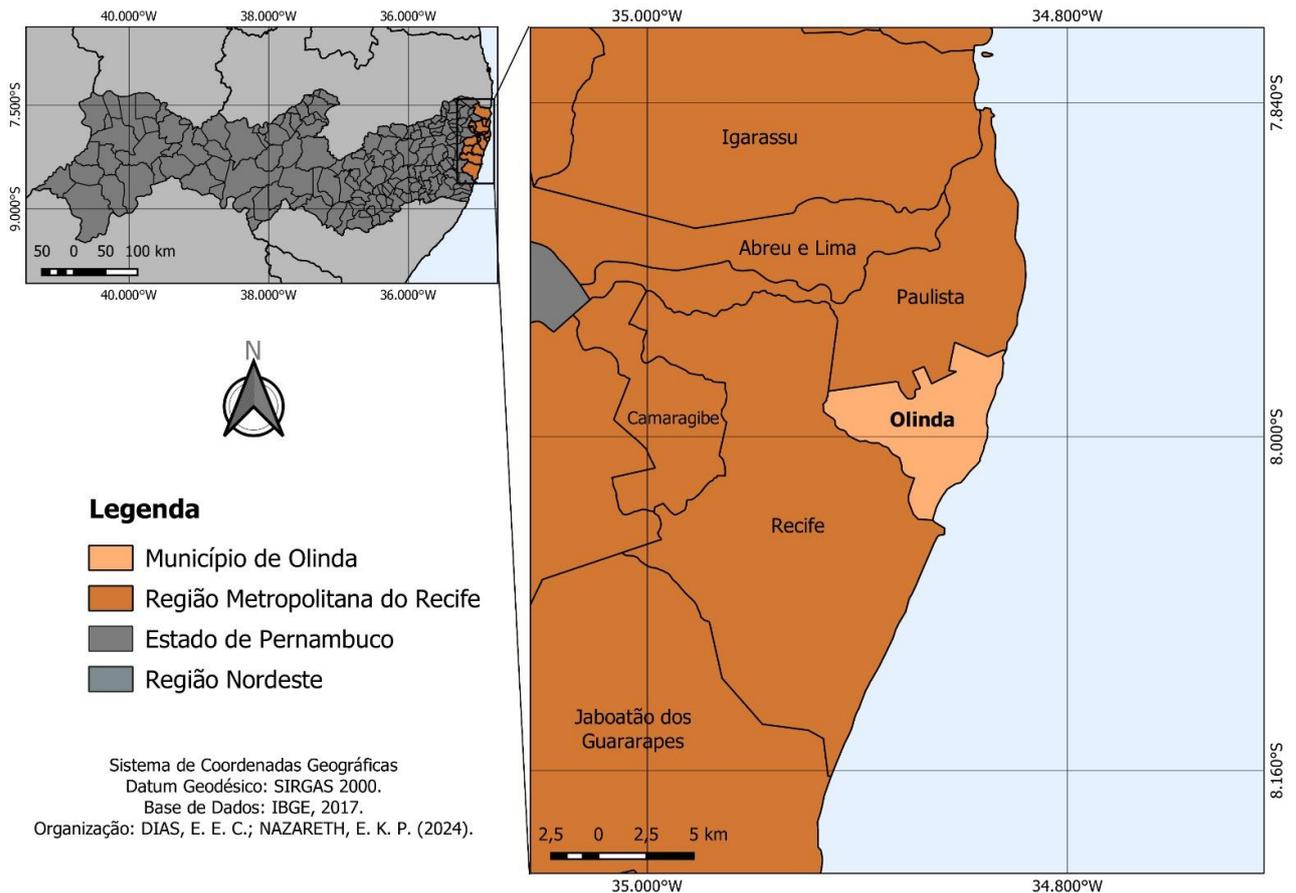
A praia de Ponta de Pedras apresentou em algumas porções sedimentares índice de radiação total chegando a atingir 350 cps apresentando fontes de exposição

que pode ser danosa, se por longo tempo de exposição. Já a praia de Carne de Vaca apresentou menor índice de radiação, e em alguns trechos até mesmo nula, porém resistindo a presença de radioatividade natural (Franca, 2013).

#### 5.1.6. Olinda

A cidade está situada em uma região litorânea, o que proporciona um clima tropical úmido, com temperaturas elevadas ao longo do ano e elevada incidência de chuvas, principalmente durante os meses de verão. Além disso, Olinda é conhecida por suas colinas e elevações, o que confere à cidade um relevo acidentado e propício para a formação de mirantes naturais. Por estar localizada próxima ao oceano Atlântico, a cidade também apresenta relevo costeiro e tem parte de seu território formado por áreas de manguezais e restingas (IBGE,2018).

Segundo a divisão regional em vigor desde 2017, estabelecida pelo IBGE, o município de Olinda está enquadrado nas regiões geográficas intermediária e imediata do Recife. Anteriormente, seguindo as divisões em microrregiões e mesorregiões, pertencia à microrregião do Recife, inserida na mesorregião Metropolitana do Recife. Olinda está situada no litoral do estado de Pernambuco, a apenas seis quilômetros de distância do Recife. Encontra-se na Região Metropolitana do Recife, com o Oceano Atlântico ao leste e os municípios de Paulista ao norte e Recife ao sul e oeste. Sua área territorial abrange 41,300 km<sup>2</sup> (IBGE 2018).



No contexto da radiação natural, Olinda possui uma exposição variável devido à sua localização geográfica e à influência de fatores naturais e antropogênicos., fontes naturais de radiação, como o solo e as rochas, contribuem para os níveis de radiação de fundo na região (Paiva, 2019).

Segundo a literatura e as análises desenvolvidas no território de Olinda, foi possível encontrar mais especificamente na área geográfica do aquífero Beberibe a presença de radioatividade natural a partir das análises laboratoriais dos sedimentos rochosos e da água onde há presença de fosforito uranífero, cujas concentrações de radionuclídeos podem variar em sua solubilidade na água e presença nos sedimentos (Paiva, 2019).

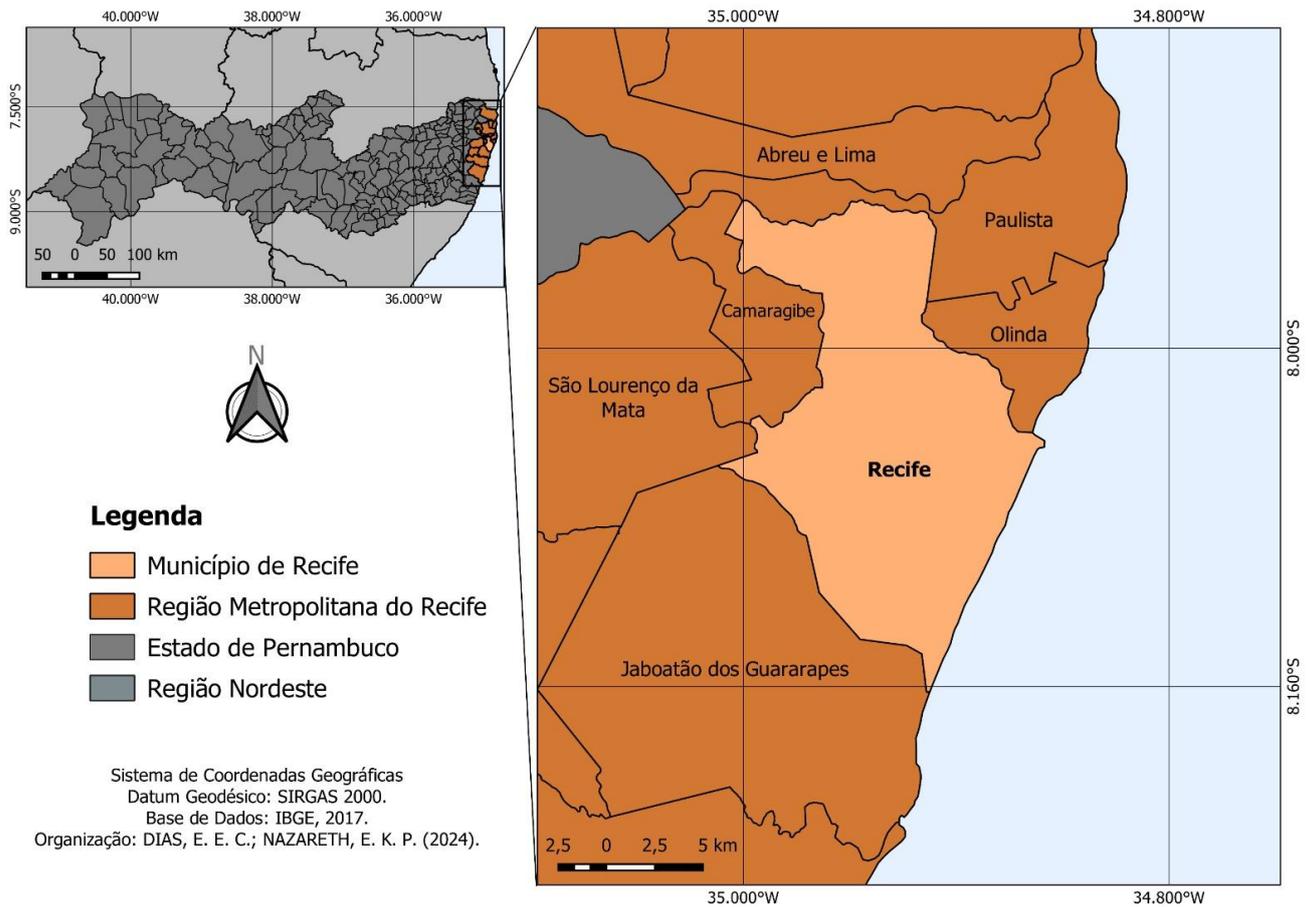
O urânio (U) presente no fosforito uranífero pode ocorrer em diferentes formas químicas e estados de oxidação, influenciando sua reatividade e mobilidade no meio ambiente, porém dentro da área estudada os níveis são aceitos pelas entidades reguladoras dos níveis de radiação ao qual o ser humano pode ficar exposto (Paiva, 2019).

### 5.1.7. Recife

O Recife, capital do estado de Pernambuco, é localizado nas proximidades do paralelo 8°04'03" sul e do meridiano 34°55'00" oeste, abrangendo uma área territorial de 218,843 quilômetros quadrados, como mostra a figura 15. Reconhecido como a sede da Região Metropolitana do Recife (RMR), o município apresenta a quarta maior aglomeração urbana do Brasil em termos de população. Segundo a divisão regional estabelecida pelo IBGE em 2017, o Recife é categorizado nas Regiões Geográficas Intermediária e Imediata do Recife, substituindo as divisões anteriores em microrregiões e mesorregiões, onde estava integrado à microrregião do Recife, inserida na mesorregião Metropolitana do Recife (IBGE,2018).

A topografia da cidade é caracterizada por uma planície aluvial fluvio-marinha, composta por ilhas, penínsulas, áreas alagadas e manguezais, atravessada por cinco rios principais: Beberibe, Capibaribe, Tejipió, e afluentes do Jaboatão e do Pirapama, conferindo-lhe uma configuração geográfica peculiar. Essa planície é cercada por uma sucessão de colinas que se estendem em um arco de norte a sul, desde Olinda até Jaboatão (IBGE, 2018).

**Figura 18 - Representação geográfica de Recife – PE**



A presença de radiação natural no território de Recife é principalmente decorrente da composição geológica da região, sendo gerada em maior quantidade pela presença de minerais radioativos no solo e nas rochas locais. A partir das análises desenvolvidas, foram analisadas as concentrações de metais e radionuclídeos em amostras de água e lodo provenientes das Estações de Tratamento de Água (ETAs) localizadas na região metropolitana do Recife. A determinação dos metais foi realizada conforme os métodos analíticos descritos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater e pelo método EPA 3051 A da agência ambiental dos Estados Unidos, para as amostras de água e lodo, respectivamente (Albuquerque, 2013).

Foram encontradas as concentrações dos metais Zn (Zinco), (Mn) Manganês, (Cd) Cádmio, (Cu) Cobre, (Cr) Cromo, (Pb) Chumbo, (Fe) Ferro, (Al) Alumínio, bem como dos radionuclídeos  $^{226}\text{Ra}$  (Rádio),  $^{228}\text{Ra}$  (Rádio) e  $^{40}\text{K}$  (Potássio), em amostras de água e lodo provenientes das Estações de Tratamento de Água (ETAs).

Os resultados das concentrações de Zn (Zinco), (Mn) Manganês, (Cd) Cádmio, (Cu) Cobre, (Cr) Cromo, (Pb) Chumbo na água tratada para consumo atenderam aos padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde (Albuquerque, 2013).

Em relação ao lodo, foram observadas concentrações elevadas de (Zn) Zinco, (Mn) Manganês, (Cd) Cádmio, (Cu) Cobre, (Cr) Cromo. (Pb) Chumbo, (Fe) Ferro, atribuídas principalmente à qualidade da água bruta como fator contribuinte para esses níveis. Destaca-se que o Fe foi o elemento mais abundante, com maiores concentrações. Porém a presença de elementos radioativos é caracterizada por concentrações relativamente baixas, que se referem a quantidade natural presente na superfície terrestre (Albuquerque, 2013).

## **5.2.Mapeamento dos elementos presentes nas áreas anômalas**

A partir do levantamento bibliográfico das áreas com radioatividade natural em várias regiões de Pernambuco, com foco na presença de elementos radioativos e suas características geográficas, foi possível a partir de a análise laboratorial encontrar tais elementos em substratos de sedimentos rochosos, solos, água e lodo, nas seguintes cidades: Pedra, Venturosa, Petrolina, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Carne de Vaca, Ponta de Pedras, Olinda e Recife, como mostra a tabela 1.

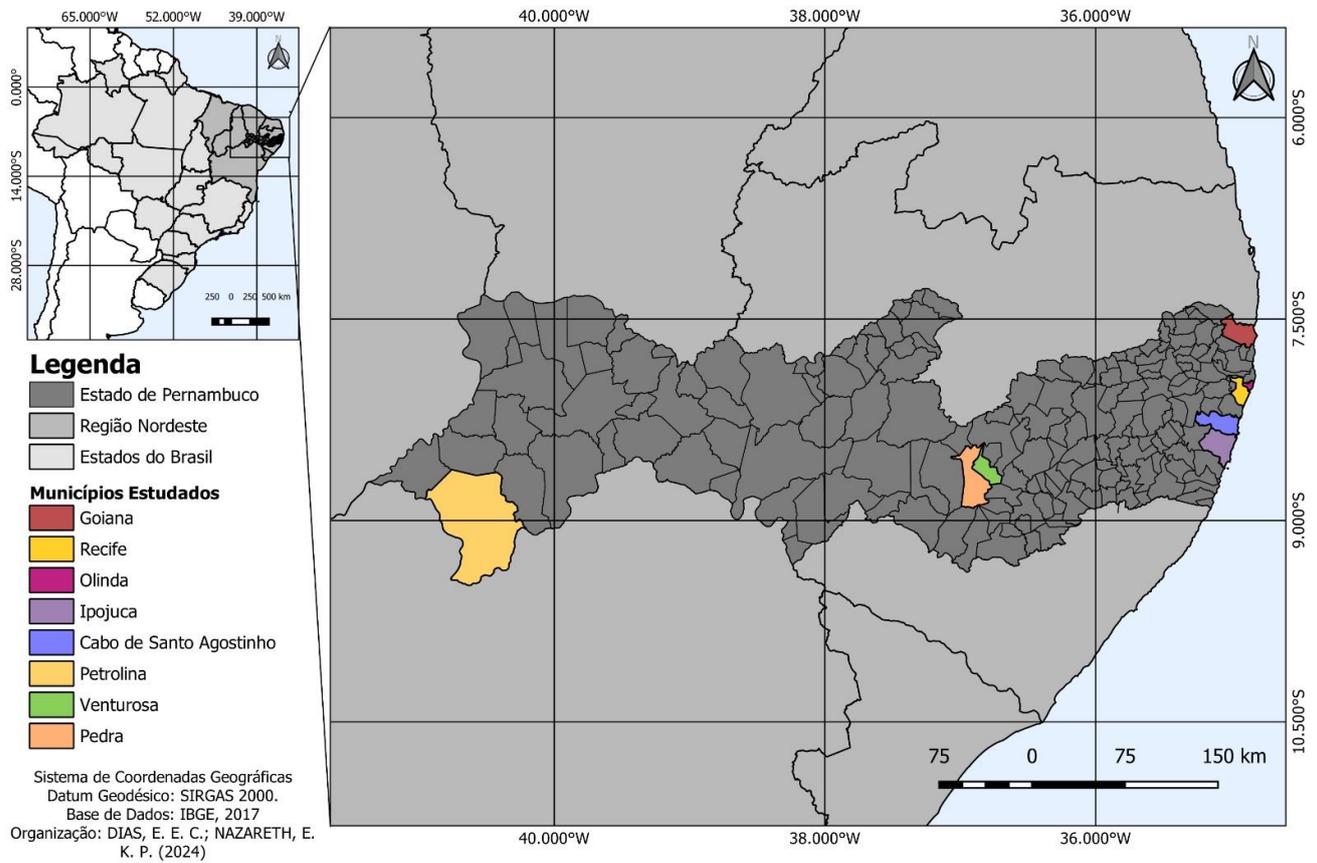
**Tabela 1 - Levantamento bibliográfico das áreas anômalas e os elementos encontrados**

ÁREAS ANÔMALAS	ELEMENTOS ENCONTRADOS	REFERÊNCIAS
PEDRA (Fazendas)	Urânio (U), Rádio (Ra), Potássio (K), Lantânio (La), Cério (Ce), Neodímio (Nd), Samário (Sm), Európio (Eu) Itérbio (Yb), Lutécio (Lu), Escândio (Sc) eTérbio (Tb).	(BEZERRA, 2011; ARAÚJO, 2005; KENNEDY, 2013; ARAÚJO, 2009)
VENTUROSA (Rio Ipanema)	Urânio (U) e Tório (Th)	(COSTA <i>et al.</i> ,1976; ARAÚJO, 2009)
PETROLINA (Vale do São Francisco)	Potássio (K), Rádio (Ra), Urânio (U),	(SAAD, 2004 ; SILVEIRA,2007)
CABO DE SANTO AGOSTINHO E IPOJUCA (Porto de Suape)	Urânio (U), Rádio (Ra), Potássio (K). Chumbo (Pb)	(CARNEIRO, 2011)
CARNE DE VACA E PONTA DE PEDRAS (Rio Goiana)	Urânio (U) e Tório (Th)	(FRANÇA,2013)
OLINDA (Aquífero Beberibe)	Urânio (U)	(PAIVA, 2019)
RECIFE (Estações de Tratamento de Água)	Zn (Zinco),(Mn) Manganês, (Cd) Cádmiio, (Cu) Cobre, (Cr) Cromo, (Pb) Chumbo, (Fe) Ferro, (Al) , Ra (Rádio) , Ra (Rádio) e K (Potássio)	(ALBUQUERQUE, 2013).

Fonte: Autora (2024)

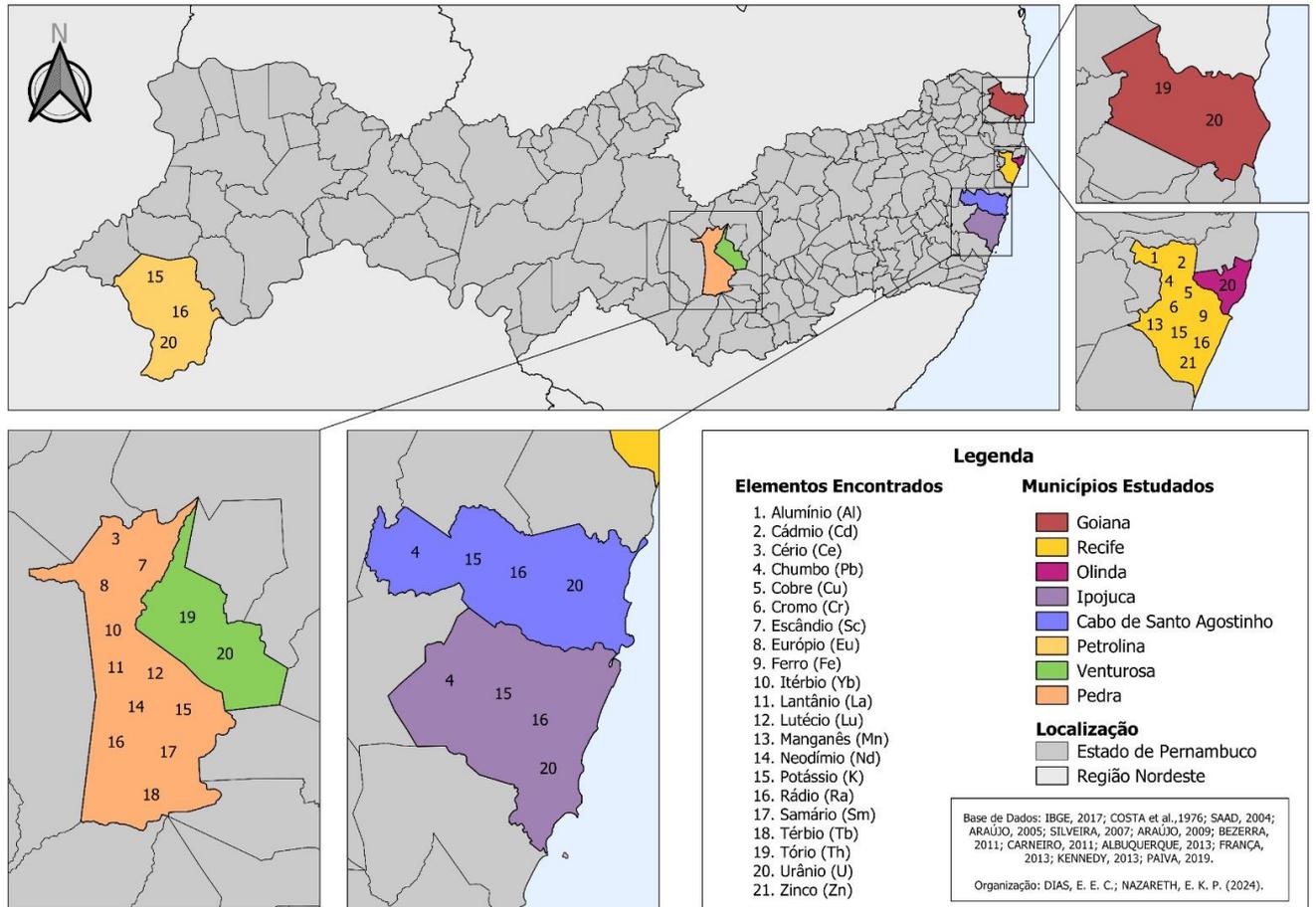
As cidades que através do levantamento bibliográfico apresentaram algum tipo de presença de radiação natural são apresentadas na figura 19, e os elementos encontrados em cada área estudada são apresentados na figura 20.

**Figura 19 - Áreas anômalas de Pernambuco**



Fonte: Autora (2024)

**Figura 20 - Elementos encontrados nas áreas estudadas**



Fonte: Autora (2024)

### 5.3. Levantamento dos possíveis impactos causados pela presença dos elementos radiativos.

O elevado nível de elementos como Urânio (U), Rádio (Ra), Potássio (K), Lantânio (La), Cério (Ce), Neodímio (Nd), Samário (Sm), Európio (Eu), Itérbio (Yb), Lutécio (Lu), Escândio (Sc), Térbio (Tb), Tório (Th), Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Cádmiio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), e Alumínio (Al) pode ter diversos impactos, dependendo do contexto. Estes elementos, embora fundamentais para várias indústrias e aplicações tecnológicas, podem apresentar desafios significativos em termos de gestão ambiental, saúde pública e sustentabilidade. A utilização responsável e a gestão eficaz dos resíduos são essenciais para minimizar os impactos negativos e promover um desenvolvimento sustentável. Na tabela 2 destacam-se os impactos potenciais de cada elemento,

abrangendo diferentes aspectos como radioatividade, contaminação ambiental, impacto na saúde humana e principais usos industriais.

**Tabela 2 - Levantamento do índice de radioatividade, contaminação ambiental, impacto na saúde humana e principais usos industriais do elementos encontrados**

Elementos encontrados	Radioatividade	Contaminação ambiental	Impacto na saúde humana	Principais usos industriais
1. Urânio (U)	Emite radiação alfa, beta e gama, com potencial carcinogênico significativo.	Pode contaminar o solo e a água em áreas de mineração e processamento	Causa câncer, problemas renais e danos ao sistema nervoso em exposições elevadas	Principalmente como combustível em reatores nucleares e na produção de armas nucleares.
2. Rádio (Ra)	Emissão de radiação alfa, altamente prejudicial à saúde humana.	Encontrado naturalmente em minerais de urânio e fosfatos, contaminando solos e águas subterrâneas.	Causa câncer ósseo e outros problemas graves de saúde.	Utilizado em terapias de radioterapia, fontes de energia nucleares e em dispositivos de medição.
3. Potássio (K)	Isótopos radioativos em pequenas quantidades, geralmente não impactantes	Fertilizantes ricos em potássio podem alterar a composição do solo.	Importante para a função muscular e cardiovascular.	Amplamente utilizado na agricultura como nutriente para plantas e na indústria para produção de fertilizantes.
4. Lantânio (La)	Não é radioativo significativamente	Impactos de mineração podem causar destruição de habitats.	Baixo impacto direto na saúde humana	Usado em catalisadores automotivos, lâmpadas de arco, e em ímãs permanentes.
5. Cério (Ce)	Não é radioativo significativamente	Pode contaminar o solo e a água se não for gerenciado adequadamente.	Pode causar irritação na pele e no sistema respiratório em altas concentrações	Usado em conversores catalíticos de veículos automotores e em lâmpadas fluorescentes.
6. Neodímio (Nd)	Não é radioativo significativamente	Impactos de mineração incluem desmatamento e poluição da água.	Baixo impacto direto na saúde humana fora do ambiente industrial.	Essencial para ímãs de alta resistência, usado em eletrônicos e tecnologias verdes.

7. Samário (Sm)	Não é radioativo significativamente	Pode contaminar o solo e a água em áreas de mineração	Exposição ocupacional pode levar a problemas respiratórios e de pele	Usado em ímãs de alta potência, lasers e em cerâmicas especiais
8. Európio (Eu)	Não é radioativo significativamente	Pode contaminar o solo e a água se descartado inadequadamente	Baixo impacto direto na saúde humana fora do ambiente industrial	Usado em materiais luminescentes, como LEDs, televisores e monitores de computador.
9. Itérbio (Yb)	Não é radioativo significativamente	Pode estar presente em resíduos industriais se não for tratado corretamente	Baixo impacto direto na saúde humana fora do ambiente industrial	Usado em lasers, reatores nucleares e em medicina para diagnósticos e terapias
10. Lutécio (Lu)	Não é radioativo significativamente	Impactos de mineração incluem erosão do solo e contaminação de águas superficiais	Baixo impacto direto na saúde humana fora do ambiente industrial	Usado em medicina nuclear, cintilografia e em pesquisa científica
11. Escândio (Sc)	Não é radioativo significativamente	Impactos de mineração incluem perturbação do habitat e contaminação de águas superficiais	Baixo impacto direto na saúde humana fora do ambiente industrial	Usado em ligas de alumínio para aviação, em lâmpadas de vapor de mercúrio e em produtos eletrônicos
12. Térbio (Tb)	Não é radioativo significativamente	Impactos de mineração incluem desmatamento e poluição da água.	Exposição ocupacional pode causar irritação na pele e no sistema respiratório	Usado em tecnologias verdes, como turbinas eólicas, e em dispositivos de armazenamento de dados
13. Tório (Th)	Emissão de radiação alfa, beta e gama, com potencial carcinogênico	Pode contaminar o solo e a água em áreas de mineração	Causa câncer, problemas respiratórios e danos ao sistema digestivo	Usado em reatores nucleares, como combustível alternativo, e em dispositivos médicos
14. Chumbo (Pb)	Não é radioativo significativamente	Poluição de solos urbanos devido a tintas antigas e gasolina	Causa danos neurológicos, problemas de desenvolvimento em crianças e distúrbios renais	Usado historicamente em tintas, gasolina, baterias, munições e em indústrias de metalurgia
15. Zinco (Zn)	Não é radioativo significativamente	Eutrofização de corpos d'água devido a descargas de esgoto e fertilizantes	Necessário para a saúde, mas excessos podem causar distúrbios gastrointestinais	Usado em galvanização, baterias, cosméticos, suplementos alimentares e na

				indústria farmacêutica.
16. Manganês (Mn)	Não é radioativo significativamente	Impactos de mineração incluem erosão do solo e contaminação de águas superficiais	Necessário para a saúde, mas excessos podem causar danos ao sistema nervoso e respiratório	Usado em ligas metálicas, produção de aço, baterias, tintas, fertilizantes e na indústria de alimentos
17. Cádmio (Cd)	Não é radioativo significativamente	Poluição de solos e águas devido a baterias descartadas e descargas industriais	Altamente tóxico, causando câncer, problemas renais, ósseos e respiratórios	Usado em baterias recarregáveis, pigmentos, estabilizadores de plástico, e em processos industriais
18. Cobre (Cu)	Não é radioativo significativamente	Contaminação de solos e águas devido a mineração e práticas agrícolas	Necessário para a saúde, mas excessos podem causar problemas gastrointestinais e dermatológicos	Usado em fiação elétrica, tubulações, moedas, e em indústrias de construção, automotiva e de tecnologia
19. Cromo (Cr)	Não é radioativo significativamente	Contaminação de solos e águas devido a descargas industriais e deposição atmosférica	Causa irritação da pele, problemas respiratórios e aumento do risco de câncer	Usado em cromagem, ligas metálicas, pigmentos, tintas, e em tratamento de madeira e couro
20. Ferro (Fe)	Não é radioativo significativamente	Não causa contaminação significativa em condições normais	Essencial para a saúde, mas excessos podem causar problemas gastrointestinais	Usado em construção, fabricação de veículos, produção de aço, e em suplementos alimentares
21. Alumínio (Al)	Não é radioativo significativamente	Pode ser liberado em processos industriais e estar presente em resíduos urbanos	Pode causar problemas respiratórios se inalado em altas concentrações	Usado em embalagens, construção civil, transportes, eletrônicos, e em indústrias aeroespacial e automotiva

Fonte: Autora (2024)

Diversos elementos naturais e metais apresentam riscos potenciais para o meio ambiente e a saúde humana devido às suas propriedades radiativas, químicas e seus usos industriais. Elementos como Urânio (U) e Tório (Th) possuem alta radioatividade, emitindo radiação alfa, beta e gama, o que pode causar câncer e

outros problemas graves de saúde. Esses elementos frequentemente contaminam solos e águas em áreas de mineração, destacando a necessidade de monitoramento ambiental rigoroso.

O Rádío (Ra) também emite radiação alfa, sendo altamente prejudicial para a saúde humana, com implicações como câncer ósseo, enquanto o Potássio (K), embora radioativo em pequenas quantidades, é essencial para funções biológicas. Outros elementos, como o Lantânio (La), Cério (Ce), Neodímio (Nd), Samário (Sm), Európio (Eu), Itérbio (Yb), Lutécio (Lu), e Escândio (Sc), têm pouca radioatividade, mas podem impactar o ambiente devido à mineração, que causa erosão, contaminação hídrica e destruição de habitats.

Metais pesados como Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), e Cromo (Cr) apresentam preocupações ambientais e de saúde significativas. Chumbo, altamente tóxico, causa danos neurológicos e problemas de desenvolvimento, especialmente em crianças, enquanto o Cádmio está associado a câncer e disfunções renais. Zinco, Manganês, e Cobre são necessários para a saúde, mas podem causar toxicidade em concentrações elevadas, afetando sistemas nervoso, respiratório e gastrointestinal. Já o Ferro (Fe) e o Alumínio (Al), embora não sejam radiativos, podem causar problemas de saúde e ambientais quando presentes em excesso.

A utilização desses elementos varia amplamente, desde aplicações em indústrias de alta tecnologia, como produção de ímãs e dispositivos eletrônicos, até o uso em agricultura, medicina, e na produção de materiais de construção. Devido aos impactos potenciais desses elementos, é essencial a adoção de medidas preventivas e regulatórias para mitigar os efeitos adversos sobre o meio ambiente e a saúde humana.

## 6. CONCLUSÕES

A partir do levantamento realizado através do método PRISMA, podemos destacar as áreas anômalas em várias regiões de Pernambuco, Brasil, com foco na presença de elementos radioativos e características geográficas. As áreas estudadas incluem Pedra, Venturosa, Petrolina, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Carne de Vaca, Ponta de Pedras, Olinda e Recife.

Os estudos destacam a presença de elementos radioativos como Urânio (U), Tório (Th), Rádio (Ra) e Potássio (K), com concentrações que excedem os limites recomendados em algumas regiões. É observada a presença de elementos radioativos em sedimentos rochosos, solos, água e lodo. A presença desses elementos radioativos é atribuída à composição geológica da região, com destaque para a presença de minerais radioativos no solo e nas rochas locais.

A análise radiométrica revelou a presença de elementos terras raras (ETR) em concentrações significativas, indicando a heterogeneidade na distribuição desses elementos na área de estudo. A exposição variável à radiação natural é influenciada pela localização geográfica e por fatores naturais e antropogênicos. A presença de elementos radioativos em concentrações relativamente baixas, atribuídas à quantidade natural presente na superfície terrestre, também foi observada e considerada normal.

Com base nas informações fornecidas, é possível analisar os elementos encontrados em cada local estudado da seguinte forma: Na região de Pedra, em Pernambuco, foram identificadas concentrações elevadas de Zinco (Zn), Manganês (Mn), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Chumbo (Pb) e Ferro (Fe) em sedimentos rochosos. Também foram observadas concentrações significativas de elementos radioativos como Urânio (U), Rádio (Ra), Potássio (K) e Tório (Th) em amostras de rochas e solos, com a presença de produtos de decaimento desses elementos. A presença radiológica está ligada diretamente aos processos de intemperismo. Elementos de Terras Raras, como Lantânio (La), Cério (Ce) e Neodímio (Nd), superaram consideravelmente as médias da crosta terrestre, em cerca de 12 vezes, e as médias globais relatadas na literatura, em até 4,6 vezes.

Em Venturosa, principalmente em áreas próximas ao Rio Ipanema, foram encontrados sedimentos de rocha com altos teores de Urânio (U) e Tório (Th).

Na região de Petrolina, estudos indicam que os solos agricultáveis do Vale do São Francisco podem conter radionuclídeos de origem natural, como Urânio (U), Potássio (K) e Rádío (Ra). O Urânio (U) apresenta concentrações acima dos padrões estabelecidos pela UNSCEAR, enquanto o Potássio (K) e o Rádío (Ra) se mantêm dentro desses limites.

Entre os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, especificamente no Porto de Suape, foram encontradas quantidades significativas de Urânio (U), Potássio (K), Tório (Th), Rádío (Ra) e Chumbo (Pb) em amostras de solo, sedimentos, peixes e folhas de mangue coletadas ao longo dos rios Ipojuca, Massangana e Tatuoca na região estuarina do Complexo Industrial de Suape. As concentrações de Urânio (U), Tório (Th), Rádío (Ra) e Chumbo (Pb) em sedimentos rochosos e amostras de solo superam os limites recomendados pela UNSCEAR, assim como as concentrações encontradas em amostras de peixes e folhas de mangue.

Em Goiana, a área estudada abrange o estuário do Rio Goiana, incluindo as praias de Carne de Vaca e Ponta de Pedras, onde foram identificadas concentrações significativas de Urânio (U) e Tório (Th) em amostras de sedimentos nos leitos sedimentares. A praia de Ponta de Pedras apresentou índices de radiação total potencialmente danosos em casos de longa exposição, enquanto a praia de Carne de Vaca registrou índices de radiação mais baixos, com presença de radioatividade natural em alguns trechos.

Na cidade de Olinda, a exposição à radiação natural é variável devido à localização geográfica e à influência de fatores naturais e antropogênicos. A presença de radioatividade natural foi identificada na área do Aquífero Beberibe, com fosforito uranífero apresentando concentrações variáveis de radionuclídeos na água e nos sedimentos.

Em Recife, a radiação natural é principalmente decorrente da composição geológica da região, gerada pela presença de minerais radioativos no solo e nas rochas locais. Concentrações de metais como Zinco (Zn), Manganês (Mn), Cádmió (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Chumbo (Pb), Ferro (Fe) e Alumínio (Al), além de

radionuclídeos como Rádio (Ra) e Potássio (K), foram detectadas em amostras de água e lodo provenientes das Estações de Tratamento de Água (ETAs) na região metropolitana de Recife. As concentrações de metais na água tratada atenderam aos padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde, enquanto o lodo apresentou concentrações elevadas de Zinco (Zn), Manganês (Mn), Cádmiio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr) e Chumbo (Pb), atribuídas ao estado bruto da água, dentro dos limites aceitos pela UNSCEAR e pelo Ministério da Saúde. Destaca-se o Ferro (Fe) como o elemento mais abundante, com as maiores concentrações.

De acordo com os elementos encontrados em cada área de estudo, as tabelas e os mapas produzidos o urânio (U) e o rádio (Ra) são elementos altamente radioativos com consequências severas para a saúde e o meio ambiente. A exposição ao urânio pode causar câncer e outras doenças devido à radiação, e vazamentos podem contaminar solo e água, afetando ecossistemas inteiros. O rádio, com sua alta toxicidade, também possui um potencial carcinogênico significativo, contaminando áreas próximas a minas de urânio e depósitos de fosfato.

O cádmio (Cd) é outro elemento preocupante, frequentemente utilizado em baterias recarregáveis e pigmentos. Sua persistência no meio ambiente resulta em contaminação do solo e apresenta riscos tóxicos para organismos vivos.

O chumbo (Pb) tem uma história de envenenamento em seres humanos, causando danos neurológicos e afetando o desenvolvimento infantil. Mesmo após a proibição de seu uso em tintas e gasolina, a contaminação em áreas urbanas permanece um problema.

O cromo (Cr), utilizado em ligas metálicas e revestimentos industriais, possui formas hexavalentes que são altamente tóxicas, representando riscos sérios para a saúde humana e ecossistemas.

Os impactos ambientais da mineração e do descarte inadequado de elementos como o cobre (Cu), zinco (Zn), e alumínio (Al) são igualmente preocupantes. O cobre, fundamental para a condução elétrica, pode contaminar solos e águas. O zinco, utilizado na nutrição animal, se não tratado adequadamente, pode poluir sistemas de água. O alumínio, amplamente usado em embalagens, está ligado a distúrbios neurológicos se ingerido em excesso.

Elementos como o tório (Th), utilizado em reatores nucleares, e o lantânio (La), usado em ímãs de alta performance e catalisadores, representam riscos de contaminação e danos ambientais se não forem geridos adequadamente. O tório é radioativo e deve ser manuseado com cuidado, enquanto a mineração de lantânio pode causar impactos ambientais significativos.

Em resumo, a gestão inadequada e o descarte desses elementos nocivos não apenas ameaçam a saúde humana, mas também resultam em sérias consequências ambientais, destacando a necessidade urgente de práticas sustentáveis e regulamentações rigorosas para mitigar esses impactos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. M. Avaliação de metais e radionuclídeos em amostras de água e lodo de estações de tratamento de água da região metropolitana do Recife. Recife: O Autor, 2013.

ALBUQUERQUE, A. M. d. A. Avaliação de metais e radionuclídeos em amostras de água e lodo de estações de tratamento de água da região metropolitana do Recife. Recife, 2013.

Amaral, B. A. Avaliação dos níveis de <sup>210</sup>Pb em diferentes solos de Pernambuco. / Bruno de Albuquerque Amaral. - Recife, 2019.

Área territorial brasileira 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023

Belivermis M, Kiliç N, Cotuk Y, Topcuoğlu S. The effects of physicochemical properties on gamma emitting natural radionuclide levels in the soil profile of Istanbul. Environ Monit Assess. 2010;163(1-4):15-26. doi:10.1007/s10661-009-0812-1

BEZERRA, J. D. Quantificação de Arsênio, Zinco, Cobalto, Cromo e Bário no solo de uma área agricultável no Agreste de Pernambuco. 2011. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciências. Área de Concentração: Dosimetria e Instrumentação Nuclear), Programa de Pós- Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

CARNEIRO, P. F. P., Levantamento dos níveis de radioatividade natural no estuário do complexo industrial de Suape no estado de Pernambuco. / Paula Frassinetti Pereira Carneiro. - Recife, 2016.

CARNEIRO, P. F. P., Levantamento dos níveis de radioatividade natural no estuário do complexo industrial de Suape no estado de Pernambuco. Repositorio UFPE, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/20272>

CASTRO, I. E., GOMES, P. C. C. & CORREA, R. L. (org.) (1995), Geografia: conceitos e temas. Rio de Janeiro, Bertrand.

CAVALCANTE, F.; SILVA, N. C.; ALBERTI, H. L. C.; DE ALMEIDA, A. Effective dose

CHRISTOFOLETTI, A. (2000) Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo, Edgar Blücher. 236p.

COCCHIETTO, M.; SKERT, N.; NIMIS, P. L.; SAVA, G. A review on usnic acid, an interesting natural compound. Naturwissenschaften, New York, v. 89, n. 4, p. 137-146, Apr. 2002

COSTA, A. C.; PEDROSA, I. L.; MENDES, V. A. Projeto Agreste de Pernambuco. Convênio DNPM/CPRM. 1976.

DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS TERRAS RARAS EM UMA ÁREA URANÍFERA DO MUNICÍPIO DE PEDRA

Eduardo de Oliveira Costa Junior, Carlos; Borges da Silva, Edvane. 210Pb em urina de habitantes de áreas com anomalias radioativas naturais no estado de Pernambuco.. 2011. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

EL AFIFI, E.M.; AWWAD, N.S. Characterization of the TE-NORM waste associated with oil and natural gas production in Abu Rudeis, Egypt. *Journal of Environmental Radioactivity*, v. 82, p. 7-19, 2005.

Ferreira, C. ; Venancio, W. ; Sa, L.; (2017). MAPEAMENTO COLABORATIVO: IDENTIFICAÇÃO ESPACIAL DE CRECHES E ABRIGOS NO MUNICÍPIO DE RECIFE.

FRANÇA, P. P. Caracterização de minerais pesados e avaliação da radioatividade natural "IN SITU" em sedimentos praias de Acaú, Carne de Vaca e Ponta de Pedras do Estuário do Rio Goiana. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Pernambuco. Geociências, 2013.

França, P. P. Caracterização de minerais pesados e avaliação da radioatividade natural "IN SITU" em sedimentos praias de Acaú, Carne de Vaca e Ponta de Pedras do Estuário do Rio Goiana / Patrícia Pereira de França – Recife: O Autor, 2013.

FONSECA, M. R. M. Química, 2. 1. ed. São Paulo : Ática, 2013.

GONZALEZ, A. J.; ANDERER, J. Radiation versus radiation: Nuclear Energy in perspective. A comparative analysis of radiation in living environment. *IAEA Bulletin*, v. 31 n. 2, p. 21-31, 1989.

GONZALEZ, A. J.; ANDERER, J. Radiation versus radiation: Nuclear Energy in perspective. A comparative analysis of radiation in living environment. *IAEA Bulletin*, v. 31 n. 2, p. 21-31, 1989.

IAEA. Guidelines for Radioelement Mapping Using Gamma Ray Spectrometry Data. Technical Report: TECDOC 1363, Viena, 2003.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . Levantamento Geográfico de Pernambuco. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . Pedra-PE. Recife: IBGE, 2012.

IBGE. Base cartográfica contínua do Brasil ao milionésimo, escala 1:100 000 - BCIM. Versão 2014. Rio de Janeiro, 2014. Também conhecida como versão

IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?edicao=16033&t=downloads>.

IBGE. Divisão Territorial Brasileira 2018. Consultado em 10 de fevereiro de 2024

INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA (IRD) – Comissão NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN), 2000. Radioatividade natural: tecnologia humana aumenta risco de exposição. Ciência Hoje, p. 36-41.IRD-CNEN, 2000.

Jeovanes Lisboa da Silva Filho, Silva Filho. (2015). A INTERLIGAÇÃO DA PAISAGEM GEOMORFOLÓGICA DA PEDRA FURADA COM A RELAÇÃO HOMEM NATUREZA. Fórum Ambiental da Alta Paulista. 11.

JUNIOR, J. C. (2021). ANALYSIS OF WATER QUALITY MONITORING OF RIVERS IN THE GOIANA RIVER BASIN. 19. 11. 10.33947/1981-741X-v19n2-4450.

KANNAN, V.; RAJAN, M. P.; IYENGAR, M. A. R.; RAMESH, R. Distribution of natural and antropogenia radionuclides in soil and beach sand simples of Kalpakkam (India) using hyper pure germanium (HPGe) gamma ray spectrometry. Applied Radiation and Isotopes. v. 57, p. 109-119, 2002.

KAPDAN, E.; VARINLIOGLU, A.; KARAHAN, G. Outdoor radioactivity and health risks in Balikesir, Northwestern Turkey. Radiation Protection Dosimetry, v. 148, n. 3, p. 301- 309, 2012.

Lima, F. V. P., Gil, G. S., Aragão, W. A. B., Martins Silva, C., Araújo, J. L. N., Alves, E. B. ., & Loretto, S. C. . (2021). Tutorial PRISMA : Guia de delineamento de estudos sobre Revisão Sistemática. Revista Digital APO, 5(2), 97 p.  
<https://doi.org/10.5935/2526-8155.20210002>

MEDHAT M.E. Assesment of Radiation Hazards Due to Natural Radioacivity in Some Building Materials Used in Egyptian, Radiation Protection Dosimetry, v. 133, p.177-185, 2009.

PAIVA, A. C. Dispersão e mobilidade de radionuclídeos no aquífero Beberibe, Olinda (PE) - 2019. 92 folhas, il., gráfs., tabs.

PASCHOLATI, E. M.; AMARAL, G.; OSAKO, L. S. Environmental radiation patterns of the Lagoa Real Uranium District, Bahia, Brasil. In: V Cong. Intern. Coimbra: Associação Portuguesa de Geólogos, 6p. 1997.

PASCHOLATI, E. M.; AMARAL, G.; OSAKO, L. S. Environmental radiation patterns of the Lagoa Real Uranium District, Bahia, Brasil. In: V Cong. Intern. Coimbra: Associação Portuguesa de Geólogos, 6p. 1997.

PASCHOLATI, E. M.; AMARAL, G.; OSAKO, L. S. Environmental radiation patterns of the Lagoa Real Uranium District, Bahia, Brasil. In: V Cong. Intern. Coimbra: Associação Portuguesa de Geólogos, 6p. 1997.

PONTEDEIRO, E. M. B. D. Avaliação de modelos de impacto ambiental para deposição de resíduos sólidos contendo radionuclídeos naturais em instalações minero-industriais. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

Radioprotection, v. 46, n. 6, p. 145-150, 2011.

rate evaluation from natural gamma radiation in the region of Ribeirao Preto, SP-Brazil.

SANTOS Jr., J. A.; CARDOSO, J. J. R. F.; SILVA, C. M.; AMARAL, R. S. Monitoring of the distribution of thorium-232 in soil in the state of Pernambuco, Brazil. In International Conference Nuclear Atlantic Conference-INAC. August 28 to September 2, Rio de Janeiro, Brazil, 2005.

SANTOS JÚNIOR, J. A. Migração de urânio e rádio-226 no solo em torno da ocorrência uranífera do município de Pedra-PE. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Energia Nuclear, 2005.

SANTOS JÚNIOR, Otavio Pereira dos. Avaliação do potencial radiométrico em solos da região da zona da mata de Pernambuco. 2019. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

SANTOS, E.E. Radionuclídeos naturais e metais pesados em vegetais da dieta da população da cidade do Rio de Janeiro. 2002. 133 p. Tese (Doutorado em Ciências Nucleares), Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SANTOS, M. A Natureza do Espaço. Técnica e Tempo. Razão e Emoção. São Paulo: HUCITEC. 1996.

SAVANNAH RIVER SITE. Environmental dose reconstruction project.1996. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/nceh/radiation/savannah/factsheets/fact2.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2020, 14:35:40.

SHENBER, M. A. Measurement of natural radioactivity levels in soil in Tripoli. Applied Radiation and Isotopes. v. 48, p. 147-148, 1997.

SILVA, A. A. Dosimetria Radioecologica na Ocorrência Uranífera de São José de Espinharas - PB. 2014. 59p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares), Departamento de Energia Nuclear (DEN), Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SILVA, A. A. Dosimetria radioecológica na ocorrência uranífera de São José de Espinharas - PB. Dissertação de Mestrado. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, 2014.

SILVEIRA, P. B.; Determinação de  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  e  $^{40}\text{K}$  em uvas e vinhos da região do Vale do São Francisco / Patrícia Brandão da Silveira. – Recife,, 2007.

TZORTZIS, M.; TSERTOS, H.; CHRISTOFIDES, S.; CHRISTODOULIDES, G. Gamma-ray measurements of naturally occurring radioactive samples from Cyprus characteristic rocks. Radiation Measurements. v. 37, p. 221-229, 2003.

UNITED SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATIONS (UNSCEAR). 2008. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York, 2010.

UNSCEAR1 , Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York, 1988.

UNSCEAR3 , Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York, 2000.

VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (2004). Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 280p.