Revista de Geografia (Recife) V. 41, Nº. 4, 2024 (Especial)

https://doi.org/10.51359/2238-6211.2024.264831

Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional. CC BY - permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.

PKS PUBLIC KNOWLEDGE PROJECT

REVISTA DE GEOGRAFIA
Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE

OJS OPEN JOURNAL SYSTEMS

https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia

Zoneamento e análise da ocorrência de radioatividade natural no estado de Pernambuco

Helena Paula de Barros Silva [1] - Orcid: https://orcid.org/0000-0002-7480-5317
Elza Kelli Pequeno Nazareth Mota[2] - Orcid: https://orcid.org/0009-0009-5528-3785
Elise Eugênia da Cruz Dias[3] - Orcid: https://orcid.org/0000-0001-5850-2220

[1] Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil*
[2] Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil **
[3] Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil ***

Artigo recebido em 31/10/2024 e aceito em 08/11/2024

RESUMO

A radiação natural é um fenômeno ambiental caracterizado pela liberação de partículas subatômicas e ondas eletromagnéticas de elementos radioativos presentes na crosta terrestre, comuns em fontes como o sol, rochas, solo e até alimentos. Esse fenômeno representa uma das principais fontes de exposição humana à radiação, composta por três tipos principais: alfa (α), beta (β) e gama (γ). A exposição ocorre predominantemente por irradiação externa e interna, resultante da emissão de radiação gama durante o decaimento radioativo desses elementos, o que pode impactar a saúde humana, dependendo da intensidade e duração da exposição. Este estudo investiga a presença de radiação natural em Pernambuco, proveniente de fontes ambientais. A metodologia PRISMA foi utilizada para uma revisão sistemática e meta-análise dos estudos publicados sobre a radioatividade natural no estado, abrangendo etapas de levantamento bibliográfico, seleção, exclusão e análise detalhada dos conteúdos, permitindo a identificação e registro de áreas anômalas, como Pedra, Venturosa, Petrolina, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Olinda e Recife. Essas localidades apresentam concentrações significativas de elementos radioativos, incluindo urânio, tório e potássio, detectados em amostras de solo, sedimentos, água e lodo. Os estudos indicam a presença de radioatividade natural com variações nas concentrações de radionuclídeos nas diferentes regiões, influenciando os níveis de radiação de fundo e gerando diversos impactos socioambientais específicos a cada área. Por fim, destaca-se a importância do cumprimento rigoroso das diretrizes e limites estabelecidos por organizações internacionais de saúde e segurança, visando à proteção da saúde pública e à minimização dos riscos associados à exposição.

Palavras-chave: radiação em Pernambuco; radiação natural; Pernambuco; níveis radioativos.

* Professora colaboradora do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: helena.silva@upe.br
** Mestre Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: elzapequeno@hotmail.com
*** Doutoranda Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: ecdelise@gmail.com

Zoning and analysis of natural radioactivity occurrence in the state of Pernambuco

ABSTRACT
Natural radiation is an environmental phenomenon characterized by the release of subatomic particles and electromagnetic waves from radioactive elements found in the Earth's crust, common in sources such as the sun, rocks, soil, and even foods. This phenomenon is one of the main sources of human radiation exposure, comprising three primary types: alpha (α), beta (β), and gamma (γ). Exposure occurs mainly through external and internal irradiation, resulting from gamma radiation emission during the radioactive decay of these elements, which can impact human health depending on the intensity and duration of exposure. This study investigates the presence of natural radiation in Pernambuco from environmental sources. The PRISMA methodology was used to conduct a systematic review and meta-analysis of published studies on natural radioactivity in the state, covering stages of literature review, selection, exclusion, and detailed content analysis. This approach allowed for the identification and recording of anomalous areas, such as Pedra, Venturosa, Petrolina, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Olinda, and Recife. These locations present significant concentrations of radioactive elements, including uranium, thorium, and potassium, detected in samples of soil, sediments, water, and sludge. The studies indicate the presence of natural radioactivity with variations in radionuclide concentrations across different regions, influencing background radiation levels and generating various socio-environmental impacts specific to each area. Finally, the study highlights the importance of strictly adhering to guidelines and limits set by international health and safety organizations to protect public health and minimize the risks associated with radiation exposure.

Keywords: radiation in Pernambuco; natural radiatio; Pernambuco; radioactive levels.

Zonificación y análisis de la ocurrencia de radiactividad natural en el estado de Pernambuco

RESUMEN
La radiación natural es un fenómeno ambiental caracterizado por la liberación de partículas subatómicas y ondas electromagnéticas de elementos radiactivos presentes en la corteza terrestre, comunes en fuentes como el sol, las rocas, el suelo e incluso los alimentos. Este fenómeno representa una de las principales fuentes de exposición humana a la radiación, compuesta por tres tipos principales: alfa (α), beta (β) y gamma (γ). La exposición ocurre predominantemente por irradiación externa e interna, resultante de la emisión de radiación gamma durante el proceso de desintegración radiactiva de estos elementos, lo que puede impactar la salud humana, dependiendo de la intensidad y duración de la exposición. Este estudio investiga la presencia de radiación natural en Pernambuco, proveniente de fuentes ambientales. Se utilizó la metodología PRISMA para llevar a cabo una revisión sistemática y un meta-análisis de los estudios publicados sobre la radiactividad natural en el estado, abarcando etapas de revisión bibliográfica, selección, exclusión y análisis detallado de los contenidos, permitiendo la identificación y registro de áreas anómalas, como Pedra, Venturosa, Petrolina, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Olinda y Recife. Estas localidades presentan concentraciones significativas de elementos radiactivos, incluidos uranio, torio y potasio, detectados en muestras de suelo, sedimentos, agua y lodo. Los estudios indican la presencia de radiactividad natural con variaciones en las concentraciones de radionúclidos en las diferentes regiones, influyendo en los niveles de radiación de fondo y generando diversos impactos socioambientales específicos para cada área. Finalmente, se destaca la importancia de cumplir rigurosamente con las directrices y límites establecidos por organizaciones internacionales de salud y seguridad, con el objetivo de proteger la salud pública y minimizar los riesgos asociados con la exposición.

Palabras clave: radiación en Pernambuco, radiación natural, Pernambuco, niveles radiactivos.

INTRODUÇÃO

O presente estudo adota uma abordagem metodológica baseada no protocolo "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses" (PRISMA) para a revisão da literatura sobre a presença de radiação natural e seus efeitos no estado de Pernambuco. Inicialmente, foram investigados os locais de radiação natural significativa, com uma análise sistemática e estruturada baseada em revisões sistemáticas e metanálises de publicações existentes. As fontes utilizadas incluem as bases ATTENA (UFPE), IEEE Xplore, Portal Periódicos da Capes e Web of Science, com as palavras-chave “Radiation in Pernambuco”, “Natural Radiation”, “Pernambuco” e “Radioactive Levels” combinadas pelo operador booleano “AND”.

Após a coleta e análise dos dados, será apresentada uma discussão sobre as regiões afetadas, incluindo índices de radioatividade, contaminação ambiental, impactos à saúde humana e possíveis usos industriais. A radiação natural, fenômeno inerente ao ambiente, decorre da emissão de partículas subatômicas e ondas eletromagnéticas de elementos radioativos presentes na crosta terrestre e em materiais comuns. Compreende os tipos alfa, beta e gama, sendo cada tipo caracterizado por diferentes níveis de penetração e efeitos sobre o organismo humano (Santos Júnior et al., 2005; UNSCEAR, 2000).

A presença de radionuclídeos como urânio, tório e potássio-40 no solo e nas rochas contribui para os níveis de radiação de fundo (Santos Júnior et al., 2005). Em Pernambuco, ocorrem áreas com concentrações elevadas desses elementos, incluindo locais de exploração mineral, com destaque para Pedra, Venturosa e algumas praias onde se observam altos índices de minerais radioativos (França, 2013; Costa, 2011), pesquisas visam monitorar e avaliar a exposição da população a esses níveis de radiação, seguindo diretrizes de organizações internacionais como a ICRP e a IAEA, que estipulam limites de dose efetiva anual para garantir segurança e saúde pública (UNSCEAR, 1988; Santos Júnior et al., 2005).

Assim a pesquisa teve como objetivo realizar uma análise abrangente da incidência de radiação natural no estado de Pernambuco, utilizando o método PRISMA, com ênfase na identificação dos principais elementos radioativos presentes em diferentes componentes naturais. Para atingir esse objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos**:** (1) conduzir uma revisão bibliográfica sistemática, por meio do método PRISMA, para identificar, selecionar e avaliar criticamente os estudos mais relevantes sobre a ocorrência de radioatividade natural em Pernambuco; (2) realizar um levantamento detalhado da presença de elementos radioativos como Urânio, Tório e Potássio em diversos materiais, incluindo solo, sedimentos e água, coletados em múltiplas regiões do estado; (3) investigar a distribuição espacial desses elementos e seus níveis de radiação natural, bem como seus possíveis impactos socioambientais em Pernambuco; e (4) desenvolver mapas e tabelas que sintetizem as informações sobre a distribuição dos elementos radioativos e as áreas analisadas no território pernambucano.

METODOLOGIA

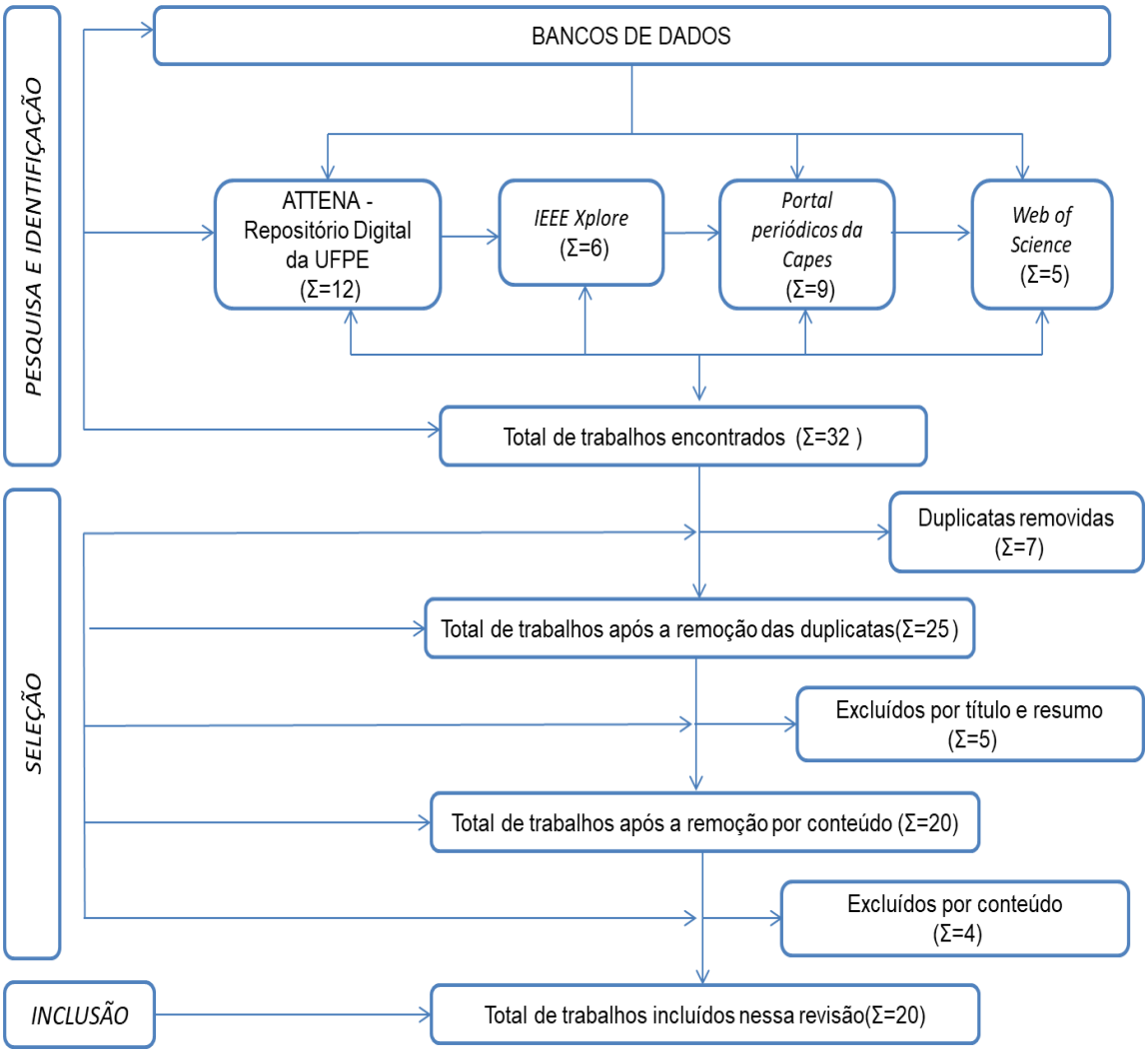
Este estudo adota uma revisão bibliográfica sistemática com base no método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), que permite identificar e avaliar criticamente as publicações mais relevantes sobre radioatividade natural em Pernambuco (Liberati et al., 2009). A revisão foi conduzida para organizar e sintetizar os estudos disponíveis por meio de critérios rigorosos de inclusão e exclusão, utilizando bases de dados como ATTENA, IEEE Xplore, CAPES e Web of Science. Foram aplicadas palavras-chave específicas, incluindo "Radiation in Pernambuco", "Natural Radiation" e "Radioactive Levels", sem restrições temporais, visando priorizar uma análise espacial e focada nas áreas mais afetadas pela radioatividade.

Após a revisão, foram identificados 32 artigos nas bases de dados selecionadas, distribuídos da seguinte forma: 12 artigos no repositório ATTENA da UFPE, 6 no IEEE Xplore, 9 no Portal Periódicos CAPES e 5 na Web of Science. Durante o processo de análise, 7 artigos foram excluídos por duplicidade, enquanto 5 foram removidos após avaliação de título e resumo, pois, embora incluíssem algumas palavras-chave, não abordavam diretamente o tema central da pesquisa. Adicionalmente, 4 artigos foram descartados por divergência de conteúdo após leitura aprofundada. Assim, ao final da triagem, 20 artigos foram selecionados para a revisão, conforme descrito na Figura 1.

Critérios de Inclusão e Exclusão

Os artigos foram selecionados por sua relevância e qualidade, organizados e analisados em planilhas para garantir elegibilidade e consistência metodológica. Apenas artigos de revisão e pesquisa foram considerados, excluindo-se capítulos de livros, resumos e artigos de congressos. Embora não houvesse restrições de idioma, a busca focou no título, resumo ou palavras-chave, com possíveis exclusões por critérios de elegibilidade que podem representar limitações desta revisão.

Figura1 - Fluxograma da seleção dos artigos para a revisão baseado no Método PRISMA-2023

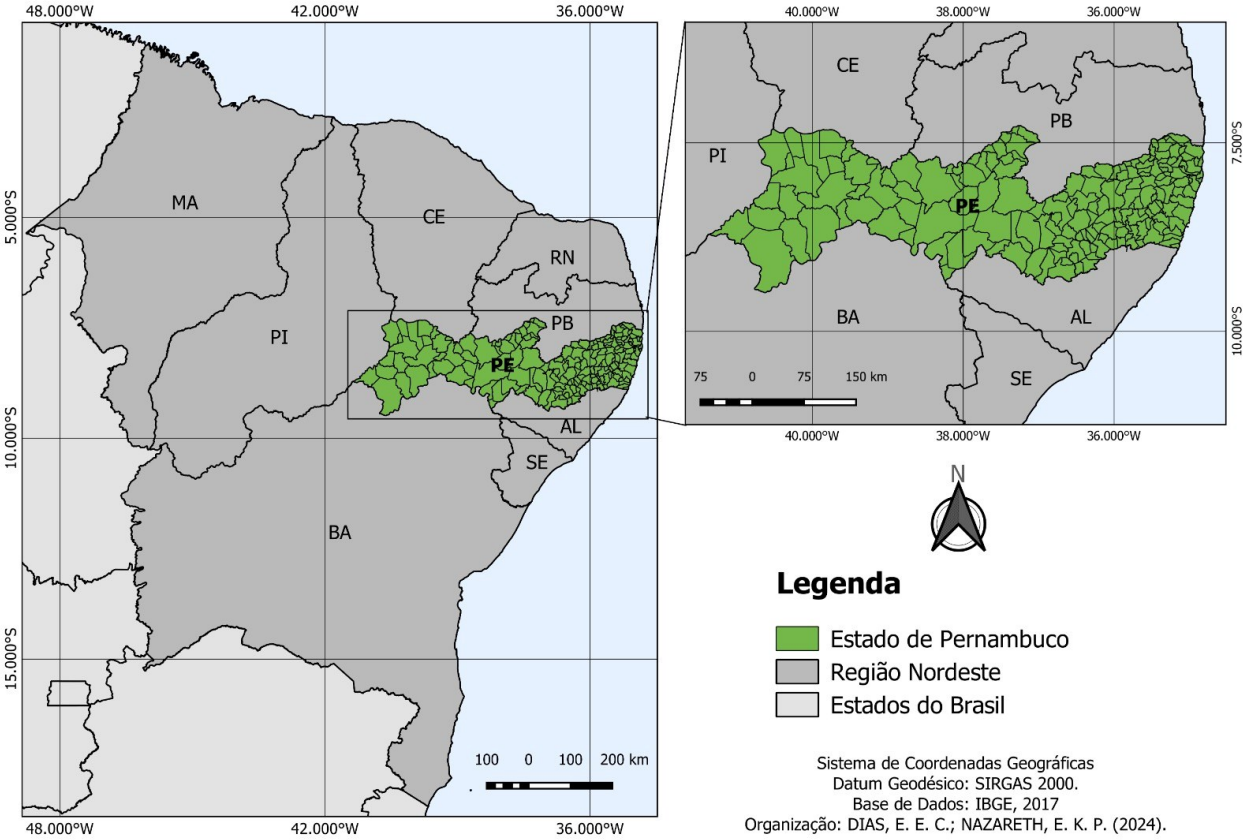


Fonte: Autoras (2024)

Área de Estudo

O estudo cobre o estado de Pernambuco, Brasil, abrangendo suas três regiões fisiográficas — Litoral-Mata, Agreste e Sertão — e suas doze regiões de desenvolvimento. O estado possui uma população estimada de 9.058.931 habitantes e apresenta subdivisões importantes para a análise da radiação natural e sua distribuição (IBGE, 2022).

Figura 1 - Mapa de Pernambuco 2024



Fonte: Autoras (2024)

O relevo de Pernambuco é composto por planícies litorâneas com manguezais, além de planaltos e serras no interior, destacando-se a Serra da Borborema, que separa o litoral do interior do estado e se estende por estados vizinhos. A Depressão Sertaneja caracteriza o semiárido nordestino, com relevo plano e solos pedregosos cobertos pela caatinga. O litoral pernambucano, com praias e biodiversidade ricas, é essencial para o turismo e a economia local. Pernambuco possui um clima tropical, com o Sertão tendo clima semiárido e longas estiagens.

Estudos indicam que a radiação natural em Pernambuco é influenciada por fatores geológicos e climáticos, como minerais radioativos no solo e a proximidade com a linha do Equador, o que aumenta a radiação solar. Desde as descobertas de metais pesados na década de 1970 pela NUCLEBRAS, estudos têm monitorado a radiação natural em Pernambuco. A radiação ambiental, presente naturalmente no ambiente, pode, porém, ultrapassar os níveis seguros estabelecidos pela OMS e CNEN.

Pesquisas contínuas são essenciais para entender os riscos e desenvolver estratégias de proteção à população e ao ambiente contra a exposição à radiação natural, além de implementar medidas de controle para minimizar impactos à saúde e ao meio ambiente.

RESULTADOS

Com base nas análises realizadas e no levantamento bibliográfico, identificou-se a presença e distribuição de elementos radioativos em diversas áreas de Pernambuco, com destaque para os municípios de Pedra, Venturosa, Petrolina, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Carne de Vaca, Ponta de Pedras e Olinda. No município de Pedra, localizado na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, foram detectadas concentrações elevadas de urânio (U) e tório (Th), atribuídas a sedimentos rochosos anômalos, com níveis de atividade que excedem em até quarenta vezes os limites recomendados. As análises também apontaram a presença de uma variedade de elementos, incluindo terras raras, com concentrações de lantânio (La) e cério (Ce) significativamente superiores às médias globais.

Venturosa também revelou anomalias radioativas, com a presença de blocos de rocha máfica e níveis de radiação gama natural que excedem os limites para o público. Em Petrolina, a pesquisa evidenciou a presença de radionuclídeos em solos agrícolas, especialmente o 238U, com concentrações acima dos padrões estabelecidos pela UNSCEAR.

Os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, situados na região do Porto de Suape, apresentaram altos níveis de urânio e tório, especialmente em amostras de solo e sedimentos coletados ao longo de rios. Já as praias Carne de Vaca e Ponta de Pedras foram analisadas quanto à radiação natural, com Ponta de Pedras mostrando níveis preocupantes de exposição. Por fim, em Olinda, a pesquisa identificou a presença de radioatividade natural associada ao aquífero Beberibe.

DISCUSSÃO

A pesquisa realizada no estado de Pernambuco focou na identificação e análise das áreas com radioatividade natural, considerando a presença de elementos radioativos e suas características geográficas. A partir do levantamento bibliográfico, foi possível realizar uma análise laboratorial, que resultou na identificação de elementos radioativos em substratos de sedimentos rochosos, solos, água e lodo. As cidades

analisadas foram Pedra, Venturosa, Petrolina, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Carne de Vaca, Ponta de Pedras, Olinda e Recife, conforme apresentado na Tabela 1.

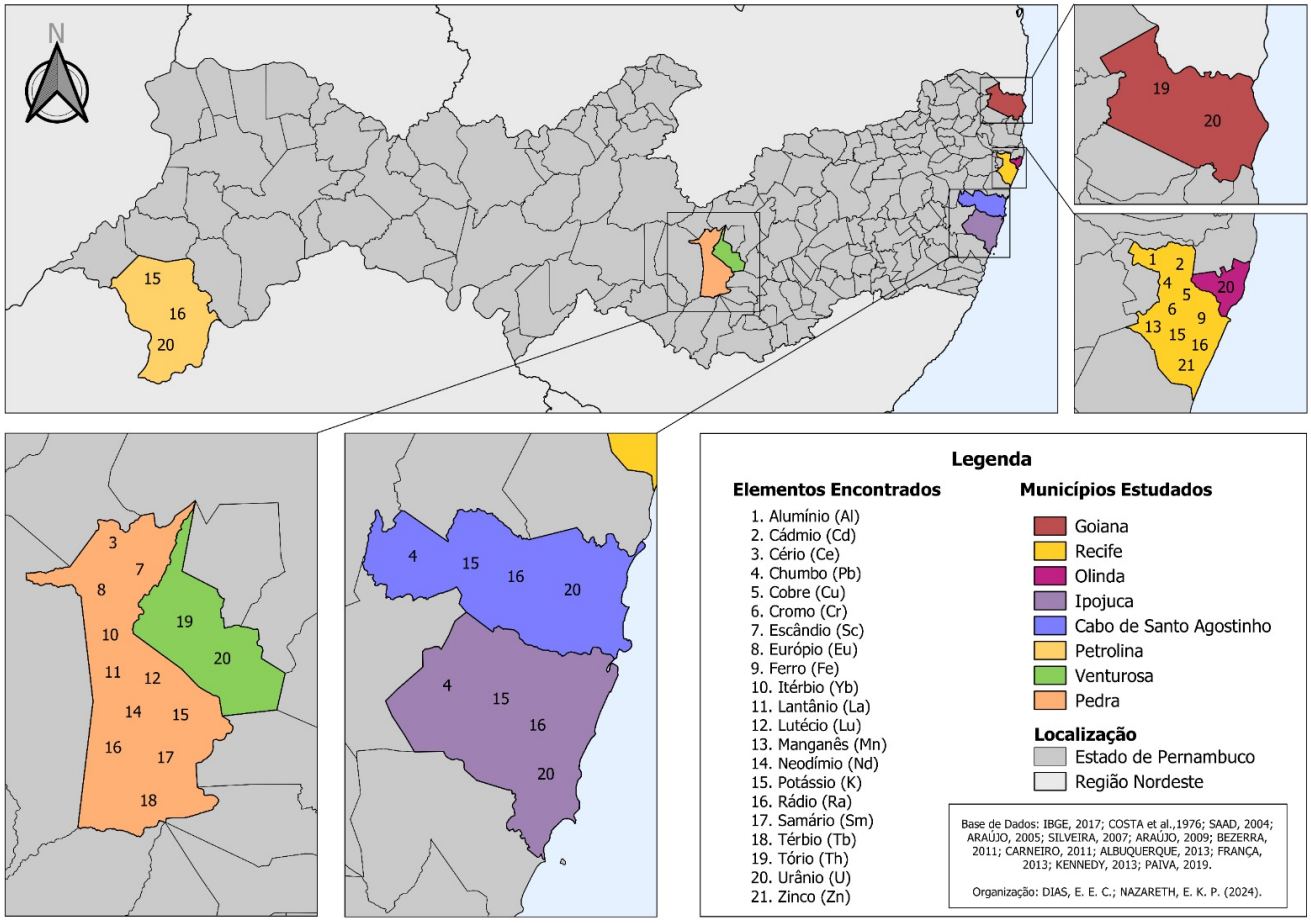
Tabela 1 - Levantamento bibliográfico das áreas anômalas e os elementos encontrados

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 *et al.*,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) Cádmio, (Cu) Cobre, (Cr) Cromo, (Pb) Chumbo, (Fe) Ferro, (Al) , Ra (Rádio) , Ra (Rádio) e K (Potássio)	(ALBUQUERQUE, 2013).

Fonte: Autoras (2024)

As cidades que através do levantamento bibliográfico apresentaram algum tipo de presença de radiação natural são apresentadas na figura 2, bem como os elementos encontrados em cada área estudada.

Figura 2- Elementos encontrados nas áreas estudadas 2024



Fonte: Autoras (2024)

.

A investigação realizada com o método PRISMA evidenciou áreas anômalas em várias regiões de Pernambuco, Brasil, onde a presença de elementos radioativos, como Urânio (U), Tório (Th), Rádio (Ra) e Potássio (K), excede os limites recomendados em determinadas localidades. As concentrações desses elementos foram detectadas em sedimentos rochosos, solos, água e lodo, refletindo a composição geológica da região e a presença de minerais radioativos.

Os dados obtidos destacam a complexidade da distribuição geográfica desses elementos e a influência de fatores naturais e antropogênicos na exposição à radiação natural. Os resultados indicam que a presença de elementos tóxicos, como cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cromo (Cr), representa riscos significativos à saúde humana e ao meio ambiente, especialmente em áreas de atividade industrial e agrícola.

Os altos níveis de radiação, particularmente em localidades como Porto de Suape e áreas rurais, sugerem a necessidade de monitoramento contínuo e práticas de gestão ambiental mais rigorosas. A urgência em implementar regulamentações adequadas é vital para prevenir contaminações e proteger a saúde pública e os ecossistemas locais.

Assim, é fundamental promover práticas sustentáveis na exploração e manejo dos recursos naturais, bem como conscientizar a população sobre os riscos associados à exposição a esses elementos. A preservação da saúde ambiental deve ser priorizada, assegurando um futuro mais seguro para as gerações vindouras.

A Tabela 2 resume os potenciais efeitos adversos, destacando a radioatividade de elementos como Urânio e Tório em Pedra e Venturosa, além de elevados índices de metais pesados no Porto de Suape e na região estuarina de Goiana. A contaminação em áreas urbanas, como Recife e Olinda, e em ambientes sensíveis, como o Vale do São Francisco em Petrolina, reforça a necessidade de políticas preventivas e intervenções ambientais adequadas para mitigar os impactos da mineração e descarte inadequado.

Tabela 2 - Levantamento do índice de radioatividade, contaminação ambiental, impacto na saúde humana e principais usos industriais dos 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	Baixo impacto direto na saúde humana	Usado em catalisadores automotivos, lâmpadas

		causar destruição de habitats.		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.
. 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 aeroespaço, 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	Pode contaminar o solo e a água em áreas de mineração	Causa câncer, problemas respiratórios e	Usado em reatores nucleares, como combustível

	potencial carcinogênico		danos ao sistema digestivo	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.
6. 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: Autoras (2024)

Dessa forma, torna-se urgente adotar medidas preventivas e regulatórias que contemplem a exploração e descarte responsável desses elementos, promovendo um desenvolvimento sustentável e resguardando a saúde e o meio ambiente nas áreas estudadas**.**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas realizadas nas áreas de Pedra, Venturosa, Petrolina, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Goiana, Olinda e Recife evidenciam altos níveis de elementos como urânio, rádio, tório, além de metais pesados e terras raras, exigindo um gerenciamento rigoroso devido aos potenciais riscos ambientais e à saúde pública. A distribuição desses elementos, conforme observada nas regiões estudadas, indica que a composição geológica local exerce papel determinante nas concentrações elevadas de radioatividade em solo, água e sedimentos, gerando impactos específicos e diferenciados em cada área analisada.

Esses resultados reforçam a necessidade de implementação de políticas de monitoramento e controle contínuo da radioatividade nas regiões afetadas, promovendo uma gestão ambiental voltada à mitigação dos riscos para as comunidades locais e para os ecossistemas. A compreensão das particularidades geológicas de cada área estudada permite direcionar ações mais eficazes de controle e prevenção, especialmente em locais onde os níveis de radioatividade ultrapassam os limites recomendados por normas internacionais.

Ademais, os achados deste estudo destacam a importância de estudos futuros que ampliem o mapeamento da radioatividade natural no estado, permitindo uma análise temporal que avalie possíveis mudanças nos níveis de exposição. A criação de campanhas de conscientização pública também é fundamental para informar as populações sobre os riscos associados à exposição e sobre medidas de proteção adequadas. Por fim, a articulação entre órgãos de saúde pública, ambientais e autoridades locais torna-se essencial para o desenvolvimento de estratégias de gestão e segurança ambiental, visando à redução dos impactos socioambientais gerados pela presença de elementos radioativos.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora expressa sua gratidão à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa de pesquisa, que foi essencial para a realização deste estudo. O suporte da FACEPE permitiu dedicação integral ao desenvolvimento e execução da pesquisa, contribuindo de forma decisiva para o avanço do conhecimento científico na área.

Agradecemos, também, à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) por proporcionar o ambiente acadêmico e os recursos necessários para o desenvolvimento deste trabalho. A infraestrutura da UFPE, aliada à sua excelência em ensino e pesquisa, foi fundamental para a formação acadêmica dos autores, oferecendo o espaço e o suporte que possibilitaram a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. M. A. **Avaliação de metais e radionuclídeos em amostras de água e lodo de estações de tratamento de água da região metropolitana do Recife**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares - PROTEN, 2013.

AMARAL, B. A. **Avaliação dos níveis de 210PB em diferentes solos de Pernambuco**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2019

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**. v. 163, 15-26. 2010.

BEZERRA, J. D. **Quantificação de Arsênio, Zinco, Cobalto, Cromo e Bário no solo de uma área agriculturável 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**. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Recife, 2016. 88 f.

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

FERREIRA, C.; VENANCIO, W.; SA, L. **Mapeamento colaborativo: identificação espacial de creches e abrigos no município de Recife.** Conference: XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI ExposicartaAt: Rio de Janeiro. Brasil. 2017.

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

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

IBGE. **Pedra-PE**. Recife: IBGE, 2012.

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

JUNIOR, J. C. Analysis of water quality monitoring of rivers in the goiana river basin. **Revista Geociências UNG-Ser**, Guarulhos-SP, v. 19, n. 2, 2021.

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. Tutorial PRISMA: Guia de delineamento de estudos sobre Revisão Sistemática. **Revista Digital APO**, v. 5, n. 2, 97 p. (2021). Disponível em https://doi.org/10.5935/2526-8155.20210002 Acesso em 18 mar 2024.

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. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

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 mínero-industriais**. Tese de Doutorado. Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2006.

SANTOS JÚNIOR, 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 em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

SANTOS JÚNIOR, O. P. **Avaliação do potencial radiométrico em solos da região da zona da mata de Pernambuco.** 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**. 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.

SILVA, A. **A. Dosimetria Radioecologica na Ocorrência Uranífera de São José de Espinharas** - PB**.** Dissertação (Mestrado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

SILVEIRA, P. B.; **Determinação de $^{23}8U$, $^{22}6Ra$, $^{22}8Ra$ e 40K em uvas e vinhos da região do Vale do São Francisco** / Patrícia Brandão da Silveira. – Recife, 2007.

UNITED SCIENTIFIC COMMITTE ON THE EFECTS OF ATOMIC RADIATIONS (UNSCEAR). 2008. **Sources and Effects of Ionizing Radiation**. United Nations, New York, 2008.

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