



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE - PRODEMA**



**MAPEANDO A SAÚDE:**  
**A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**  
**GEOGRÁFICA, O RISCO AMBIENTAL E O CÂNCER**

**SIMONE MARTINELLI**

2022

Natal – RN

Brasil

**Simone Martinelli**

**MAPEANDO A SAÚDE: A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE  
INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, O RISCO AMBIENTAL E O CÂNCER**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós- Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PRODEMA/UFRN), como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: **Prof.Dr. Julio Navoni**

2022

Natal – RN

Brasil

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI  
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Leopoldo Nelson - -Centro de  
Biociências – CB

Martinelli, Simone.

Mapeando a saúde: a utilização de sistemas de informação geográfica, o risco ambiental e o câncer / Simone Martinelli. - 2022.

107 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Biociências, Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA. Natal/RN, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Julio Alejandro Navoni.

1. Saúde única - Dissertação. 2. Radônio Interior - Dissertação. 3. Câncer - Dissertação. 4. SIG - Dissertação. 5. Contaminação - Dissertação. I. Navoni, Julio Alejandro. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

## **SIMONE MARTINELLI**

Dissertação submetida ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PRODEMA/UFRN), como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof(a). Dr(a). Raquel Franco de Souza  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PRODEMA/UFRN)

---

Prof(a). Dr(a). Luciana Medeiros  
Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN)

---

Prof. Dr. Julio Navoni  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PRODEMA/UFRN)

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar agradecendo ao núcleo da minha família, meu pequeno centro de amor e força, Paulo, Yuki e Kimura (*in memoriam*). Absolutamente nada faz sentido sem vocês na minha vida e todo o mar revolto que eu atravessei, foi somente pensando em retornar para continuarmos nosso lindo caminho juntos.

Para os queridos Josinaldo e John, os amigos que estiveram presentes nas horas mais necessárias. Vocês são seres muito raros, foram uma luz em um período realmente escuro e é um privilégio imenso conviver com vocês.

À direção do PRODEMA que entendeu o momento delicado que eu estava atravessando e permitiu que eu realizasse todo o meu tratamento com a tranquilidade tão necessária para o momento.

Ao curso de Mestrado do PRODEMA, que trouxe grandes momentos de amizade, carinho, conhecimento e troca entre professores incríveis e colegas maravilhosos. Especialmente à “*Fofofauna*”, que me acolheu (uma dentista tão longe da zona de conforto!) e estimulou a busca pela pesquisa e pela excelência. Neste contexto, eu gostaria de destacar os colegas Wagner e Alan, que tiveram muita paciência para tirar todas as minhas dúvidas na Geologia e a Professora Cimone, que sempre me fez sentir “pertencendo”. Não tenho como descrever o quão importante foi, durante toda a batalha que eu travei, ver as suas mensagens frequentes de esperança, preocupação, boas energias e afeto.

Às Professoras Ângela (Odontologia) e Raquel (Geologia) que permitiram, através da sua sabedoria, que uníssemos aqui os conhecimentos da Epidemiologia, da Análise Espacial e da Geologia para estudarmos uma problemática ambiental.

Às colegas e agora amigas para a vida, Rafaela e Amanda. Vocês são uma síntese de tudo que o meio acadêmico poderia ser o tempo todo. As duas têm tanta ética de trabalho, conhecimento e princípios, que eu me sinto extremamente abençoada pelo tempo que dividimos, tanto nos estudos quanto fora deles.

E já que por último vem sempre o mais importante, ao meu orientador, professor Julio. Não consigo imaginar porque no dia da entrevista você achou que uma dentista serviria para o PRODEMA. Mas nunca terei palavras suficientes para agradecer por todo o conhecimento, toda a amizade, toda a segurança e todo o companheirismo dentro do Mestrado. Desde que me formei, há 25 anos, nunca parei de estudar, mas posso dizer com toda a segurança que raramente encontrei Mestres como você. Obrigada.

À CAPES, pela bolsa concedida, e à UFRN como instituição pela oportunidade dada.

*“Tudo o que temos de decidir é o que fazer com o tempo que nos é dado.” Gandalf*

*J.R.R.Tolkien*

## RESUMO

Considerando que a saúde humana está ligada às condições ambientais, sociais e econômicas, todas as alterações ocorridas no meio ambiente podem afetar as populações e seus padrões de saúde e doença. Desta forma, as rápidas alterações que estão ocorrendo no planeta, a industrialização acelerada, a utilização dos recursos naturais, a destruição da biodiversidade e dos ecossistemas e a ocupação sem controle da terra, acabam aumentando a pressão sobre as espécies e contribuindo para o surgimento e o reaparecimento de doenças. O termo “saúde única” reforça o conceito de que a saúde humana depende também da saúde dos animais, plantas e do ecossistema onde estão inseridos. A exposição de longo prazo a fatores e ambientes nocivos aumenta o risco de desenvolver patologias agudas ou crônicas, assim como o câncer. O estado do Rio Grande do Norte possui uma característica ambiental deletéria, causada pela contaminação do solo por elementos radioativos como o Urânio, o Tório e Potássio, cujos isótopos radioativos e seus produtos de decaimento podem servir de fontes de contaminação ambiental. Estudos anteriores demonstraram a presença do Radônio, que faz parte da cadeia de decaimento do Urânio em diversos municípios do estado. Este estudo teve como objetivo, através de um Sistema de Informação Geográfica determinar se as ocorrências de óbitos por câncer no estado seguem um padrão geográfico e apresentam a formação de agregados associados às regiões sabidamente contaminadas por Radônio.

***Palavras-chave:*** Saúde Única, Contaminação, Radônio Interior, Câncer, SIG

## ABSTRACT

Considering that human health is linked to environmental, social, and economic conditions, all changes in the environment can affect populations and their patterns of health and disease. In this way, the rapid changes that are taking place on the planet, the accelerated industrialization, the use of natural resources, the destruction of biodiversity and ecosystems and the uncontrolled occupation of the land, end up increasing the pressure on species and contributing to the emergence and the reappearance of diseases. The term “one health” reinforces the concept that human health also depends on the health of animals, plants, and the ecosystem in which they are inserted. Long-term exposure to harmful factors and environments increases the risk of developing acute or chronic pathologies, such as cancer. The state of Rio Grande do Norte has a deleterious environmental characteristic, caused by soil contamination by radioactive elements such as uranium, thorium and potassium, whose radioactive isotopes and their decay products can serve as sources of environmental contamination. Previous studies have demonstrated the presence of Radon, which is part of the Uranium decay chain in several municipalities in the state. This study aimed, through a Geographic Information System, to determine if the occurrences of cancer deaths in the state follow a geographic pattern and present the formation of aggregates associated with regions known to be contaminated by Radon.

***Keywords:*** *One Health, Contamination, Inner Radon, Cancer, GIS*

## LISTA DE FIGURAS

**DISSERTAÇÃO: Mapeando a saúde: a utilização de sistemas de informação geográfica, o risco ambiental e o câncer.**

**Figura 1:** Estrutura Conceitual Estendida para Análise Espacial em Epidemiologia e Saúde Pública (Fonte: adaptada de JERRETT; GALE; KONTGIS, 2010)

**Figura 2:** Cadeia de decaimento do urânio com a emissão de partículas radioativas. (FONTE: adaptada de HUGHES; LOMAS, 1993)

**Figura 3:** Mapa de classificação de rochas do Estado do Rio Grande do Norte que formam o embasamento cristalino (rochas ígneas plutônicas e rochas metamórficas). (FONTE: adaptada de DE OLIVEIRA; DO NASCIMENTO, 2019)

**Figura 4:** Área da Província Pegmatítica da Borborema. (FONTE: adaptada de DE MOURA, 2013)

**Figura 5:** Imagem do Portal do Ministério da Saúde – DATASUS

**Figura 6:** Imagem do TABNET / DATASUS em Estatísticas vitais (óbitos)

**Figura 7:** Imagem do TABNET / DATASUS em seleção do CID da doença

**Artigo 1: Sistemas de Informação Geográfica e sua utilização como ferramenta na promoção de saúde única: uma revisão bibliométrica**

**Figura 1:** Matérias elegíveis para análise. Fonte: Adaptado de PRISMA (Page et al. 2020)

**Figura 2-** Distribuição temporal das publicações analisadas

**Figura 3-** Classificação do fator de impacto dos periódicos investigados

**Figura 4-** Nuvem de palavras criada a partir das palavras-chaves dos estudos analisados

**Figura 5-** Distribuição temporal apresentada nos estudos

**Figura 6-** Percentual dentre os estudos que apresentaram a ocorrência de elementos de contaminação e/ou aspectos ambientais naturais

**Figura 7-** Percentual dos tipos de câncer avaliados nos artigos

**Figura 8 –** Distribuição geográfica das áreas onde os estudos foram realizados

**Artigo 2: Análise geoespacial da ocorrência de câncer associado à radioatividade natural no Rio Grande do Norte**

**Figura 1:** Mapas do Rio Grande do Norte

A – Mapa geofísico (radiométrico ternário) dos elementos Tório, Potássio e Urânio na região do embasamento cristalino

B – Mapa geológico da formação rochosa do embasamento cristalino (rochas ígneas e metamórficas)

C – Mapa temático de óbitos por câncer nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes com sobreposição do tipo dos solos dos municípios

Fontes: **A** (CPRM 2020 modificado por Alana Regis Dantas-UFRN/USP); **B** (Adaptada de DE OLIVEIRA; DO NASCIMENTO, 2019); **C** (Shape utilizado de DE OLIVEIRA; DO NASCIMENTO, 2019)

**Figura 2:** Mapas do estado do Rio Grande do Norte de óbitos por câncer total

A – Óbitos nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes

B – Análise LISA univariada (Moran Local) de dependência geográfica dos casos de óbitos

**Figura 3:** Análises estatísticas de dependência espacial nos municípios do Estado do Rio Grande do Norte por câncer total e a presença de rochas ígneas e metamórficas

A – Análise de Moran / Bayes: 0,46

B – Cluster Map (Moran Local).

**Figura 4:** Análise estatística de dependência espacial de óbitos por câncer total através da análise univariada (Moran Global) com resultado de 0,43

**Figura 5:** Mapas do estado do Rio Grande do Norte de óbitos por câncer nas vias aéreas

A – Óbitos nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes

B – Análise LISA univariada (Moran Local) de dependência geográfica dos casos de óbitos.

C – Mapa temático de óbitos por câncer nas vias aéreas nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes com sobreposição do tipo dos solos dos municípios

D – Análise estatística de dependência espacial nos municípios do Estado do Rio Grande do Norte por câncer nas vias aéreas e a presença de rochas ígneas e metamórficas de Moran / Bayes: 0,32

E – Análise estatística de dependência espacial (cluster map) de óbitos por câncer de **vias aéreas** e presença de rochas ígneas e metamórficas nos municípios do estado do RN através da análise de Moran Local

**Figura 6:** Mapas do estado do Rio Grande do Norte de óbitos por câncer de mama

A – Óbitos nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes

B – Análise LISA univariada (Moran Local) de dependência geográfica dos casos de óbitos

**Figura 7:** Mapas do estado do Rio Grande do Norte de óbitos por câncer de medula óssea

A – Óbitos nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes

B – Análise LISA univariada (Moran Local) de dependência geográfica dos casos de óbitos

**Figura 8:** Mapas do estado do Rio Grande do Norte de óbitos por câncer de estômago

A – Óbitos nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes

B – Análise LISA univariada (Moran Local) de dependência geográfica dos casos de óbitos

**Figura 9:** Mapas do estado do Rio Grande do Norte de óbitos por câncer de pele

A – Óbitos nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes

B – Análise LISA univariada (Moran Local) de dependência geográfica dos casos de óbitos

## LISTA DE TABELAS

**Artigo 2: Análise geoespacial da ocorrência de câncer associado à radioatividade natural no Rio Grande do Norte**

**Tabela 1:** Significância dos dados encontrados quando relacionados os casos de câncer e o tipo de solo (presença de rochas ígneas e metamórficas nos municípios do Rio Grande do Norte)

**Tabela 2:** Intervalo de confiança dos dados encontrados quando relacionados os casos de câncer e o tipo de solo (presença de rochas ígneas e metamórficas nos municípios do Rio Grande do Norte)

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
1.1	SAÚDE AMBIENTAL E “SAÚDE ÚNICA”	14
1.2	EPIDEMIOLOGIA	16
1.3	O RISCO AMBIENTAL PARA O DESENVOLVIMENTO DO CÂNCER	17
1.4	A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (GIS) EM ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS E CÂNCER	19
1.4.1	ANÁLISE ESPACIAL	22
1.4.2	GEORREFERENCIAMENTO	23
1.4.3	BANCOS DE DADOS	24
2	OBJETIVOS	25
3	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	26
4	METODOLOGIA GERAL	28
4.1	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	29
4.2	LEVANTAMENTO EPIDEMIOLÓGICO	29
4.2.1	ATRIBUTOS NÃO GEOGRÁFICOS	29
4.2.2	ANÁLISE DOS DADOS E ESPACIALIZAÇÃO	31
5	REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL	32
6	CAPÍTULO 1	39
7	CAPÍTULO 2	58
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
9	APÊNDICE	82

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

### 1.1 SAÚDE AMBIENTAL E “SAÚDE ÚNICA”

Diversos termos geográficos como Espaço, Área, Vizinhança, Distância, Latitude e Longitude têm sido vistos com mais frequência na literatura médica e, conforme os dados de saúde e sociais se conectam, aumenta também a consciência de que as alterações no meio ambiente afetam diretamente as populações em seus padrões de doença e bem-estar (KRIEGER, 2003). As condições ambientais, sociais e econômicas não podem ser dissociadas quando se avalia o impacto na saúde dos indivíduos, portanto, os conflitos entre preservação ambiental e desenvolvimento não deveriam ignorar a interdependência entre a saúde humana e o ambiente em que estão inseridos (BHATIA; WERNHAM, 2008).

Considera-se, assim, que existe uma clara integração entre a geografia e o bem-estar das populações, tornando a localização espacial um fator importante no que diz respeito à saúde e à exposição aos riscos. O meio ambiente (em nível global e local) é reconhecido como parte ativa no grupo estudado, e afeta direta e indiretamente os sujeitos através do ar, da água, dos alimentos, da exposição viral, da contaminação ambiental, bem como do acesso a serviços e bens de saúde (DUMMER, 2008). A exposição de longo prazo a fatores ambientais nocivos, como as partículas de poluição em suspensão no ar em regiões com alto tráfego, por exemplo, é capaz de aumentar a mortalidade por doenças cardiopulmonares dos indivíduos (HOEK et al, 2002).

Desta forma, a saúde e o bem-estar humanos estão ameaçados pelas rápidas mudanças ambientais globais provocadas pelo aumento da população, da industrialização, da utilização dos recursos e da ocupação da terra, que geram danos significativos à biodiversidade e a deterioração dos ecossistemas. Essas mudanças ambientais aceleradas, acabam causando o surgimento e o reaparecimento de doenças infecciosas e não infecciosas. Um planeta poluído, política e socialmente instável com recursos cada vez mais escassos, aumenta a pressão sobre as espécies e facilita o desenvolvimento de patologias (DESTOUMIEUX-GARZÓN et al. 2018). Como consequência, a qualidade de vida das populações é afetada por fatores ambientais, e é impactada negativamente pela contaminação do ar, água e solos (PHAN, 2021).

Neste contexto, surgiu o termo “saúde única”, como uma ideia transdisciplinar que busca o bem-estar das pessoas, animais, plantas e o ambiente onde estão inseridas. Esse conceito de saúde procura a união e a interconectividade entre a saúde das populações e dos ecossistemas, mostrando dessa forma, a dependência existente entre eles (ATLAS, 2012;

AGUIRRE, 2019). Fatores que ameaçam a saúde humana como as doenças zoonóticas, doenças emergentes, resistência antimicrobiana, insegurança alimentar e doenças ligadas ao ambiente, se adequam à noção multissetorial de “saúde única” (BEHRAVESH, 2019). Desta forma, de acordo a definição de saúde única, a saúde tende a seguir uma abordagem holística entre os recursos naturais e o bem-estar dos indivíduos, através dos seus aspectos físicos, sociais e econômicos (FORGET; LEBEL, 2001).

As alterações climáticas e ambientais, assim como a exposição a substâncias tóxicas, têm um papel importante na ocorrência e modulação de doenças infecciosas, assim como em doenças crônicas (respiratórias, cardiovasculares, neurológicas, metabólicas e câncer). Deste modo, a ideia de “saúde única” que envolve a dinâmica entre seres humanos, animais e seu meio, implica no modo como a saúde, a agricultura, a utilização da terra, a aquicultura, o desenvolvimento urbano e o ambiente são pensados. Com o aumento do conhecimento sobre o impacto das atividades humanas nos ecossistemas, é possível interpretar e prever a ocorrência de doenças, bem como melhorar a condução de políticas públicas mitigatórias ou preventivas (DESTOUMIEUX-GARZÓN et al. 2018).

As últimas décadas trouxeram grandes alterações na forma como diferentes populações humanas se relacionam, criando vínculos entre corporações, organizações internacionais, países e comunidades. Esse movimento é conhecido como globalização, porém, ela não pode ser entendida somente como a internacionalização da produção e comercialização de bens e produtos, mas como um paradigma de desenvolvimento. Este modelo reestrutura social e economicamente as pessoas, colocando sociedades e nações em novos vínculos econômicos, financeiros, sociais, políticos e culturais cada vez mais próximos, refletindo, desta forma, o perfil de saúde e desenvolvimento de doenças. Países industrializados que apresentaram uma redução na prevalência de determinadas doenças tradicionais ligadas à falta de saneamento e veiculação hídrica, doenças transmissíveis e evitáveis por vacinas, patologias transmitidas por vetores, desnutrição e doenças respiratórias agudas, em compensação, demonstraram um aumento nos casos de doenças crônicas como diabetes, doenças cardiovasculares, obesidade, Alzheimer e câncer. Por outro lado, países em desenvolvimento da América Latina continuaram apresentando casos das chamadas “doenças tradicionais”, porém agora com grande aumento de prevalência de doenças crônicas, assim como o câncer (WATERS, 2001).

Desta forma, considerando a interdependência existente entre humanos, animais e o meio ambiente, não é possível dissociar a saúde humana dos ecossistemas, bem como a sua relevância para o desenvolvimento global (ZINSSTAG et al, 2011). As abordagens de saúde que incluem a referência de “saúde única” são capazes de unir as necessidades locais dos seres humanos com os objetivos globais de desenvolvimento sustentável, quando, por meio de um

modelo equitativo podem superar desafios sociais, econômicos e políticos (CLEAVELAND et al, 2017). O conceito de desenvolvimento sustentável tem inspirado, desta maneira, reuniões globais com a preocupação em comum de reduzir o movimento de destruição da natureza. O meio ambiente vem passando por um processo de devastação acelerada através da derrubada de florestas, consumo desenfreado, esgotamento de recursos vegetais e minerais, poluição do ar e das águas e extinção de espécies (SEN, 2004). A Agenda da ONU para o desenvolvimento sustentável (ODS) compreende esses desafios, e para isso evidencia o progresso focado nos temas: pessoas, planeta, paz, prosperidade e parcerias (ROSA; HASSMILLER, 2020). Através da sua visão colaborativa, multissetorial e transdisciplinar, a “saúde única” pode representar assim, o compartilhamento das responsabilidades quando se trata de segurança da saúde das populações e da implementação das ODS (SINCLAIR, 2019).

## **1.2 EPIDEMIOLOGIA**

Dentro das ciências da saúde, há uma área que trata da difusão e propagação de doenças nas populações, e através do padrão apresentado, procura compreender o processo saúde-doença e sua distribuição temporal e espacial. Baseia-se, desta forma na tríade pessoa, local e tempo (HINO et al, 2006). Este ramo das ciências da saúde é conhecido como Epidemiologia, e pode ser resumida como o estudo das doenças, sua ocorrência e distribuição (GOLDBAUM, 1996; LIMA-COSTA; BARRETO, 2003).

A pesquisa em epidemiologia pode ser classificada em observacional e experimental e, por sua vez, os estudos observacionais se dividem em descritivos e analíticos. Os estudos descritivos avaliam a distribuição das doenças levando em consideração o tempo e o lugar envolvidos (Quando, Onde e Quem adoece), examinando a incidência (novos casos) e prevalência (casos presentes) de doenças e como se relacionam com outras características destes indivíduos, como sexo, renda e idade. Já os estudos epidemiológicos analíticos buscam a existência de associações entre a exposição e o aparecimento de doenças, tanto para populações quanto para indivíduos (estudos ecológicos, transversais, caso-controle, coorte) (LIMA-COSTA; BARRETO, 2003).

Os estudos podem utilizar a metodologia epidemiológica na análise da situação geral da saúde de uma população, na realização da vigilância epidemiológica, na investigação etiológica e na avaliação dos serviços fornecidos aos indivíduos (GOLDBAUM, 1996). Com essa perspectiva, a epidemiologia incorpora também a relação espacial nas suas pesquisas, buscando agregar fatores ambientais e sociais na procura pelas causas das doenças (KIRBY; DELMELLE; EBERTH, 2017). Considerando que a cada ano mais de sete milhões de pessoas

morrem em decorrência do câncer em todo o mundo, a realização de estudos epidemiológicos para essa patologia, pode auxiliar na detecção de populações em risco, na elaboração de estratégias preventivas e de detecção precoce (DE SOUZA et al., 2017).

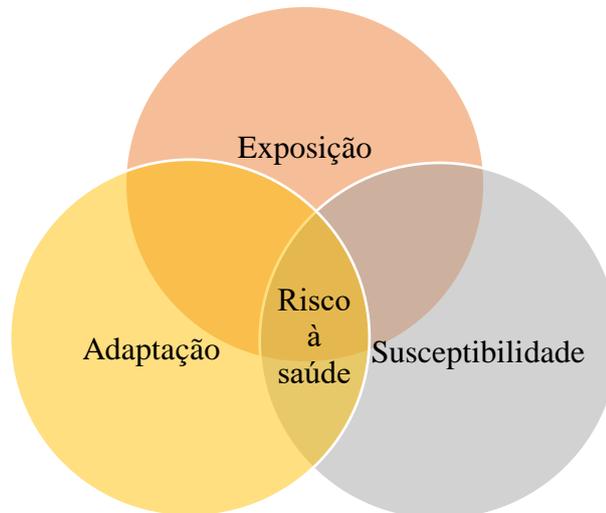


Figura 1: Estrutura Conceitual Estendida para Análise Espacial em Epidemiologia e Saúde Pública (Fonte: adaptada de JERRETT; GALE; KONTGIS, 2010)

### 1.3 O RISCO AMBIENTAL PARA O DESENVOLVIMENTO DO CÂNCER

De acordo com o portal do Instituto Nacional do Câncer (INCA), o câncer é uma doença multifatorial que sofre influências internas (como fatores reprodutivos, hormonais, condições imunológicas, mutações genéticas) e externas (urbanização, riscos ambientais, substâncias químicas, medicamentos, vírus e radiação), que podem agir individualmente, em conjunto ou sequência para iniciar ou modular a doença (BRASIL, 2021). Comumente, existe um período de latência entre as mutações e exposição ao risco e o diagnóstico do câncer, e apesar do avanço em pesquisas, testes e novas terapias, ele continua sendo uma das principais causas de morbidade e mortalidade em todo o mundo (BAILAR; GORNIK, 1997).

O câncer, na verdade, é um nome genérico para se referir a mais de 100 formas da doença, que ocorrem em diferentes tecidos e partes do corpo com características únicas, apesar de possuírem processos de desenvolvimento semelhantes. As células cancerosas perdem a sua capacidade de controle de proliferação e seguem uma agenda de reprodução própria, além de possuírem a capacidade de invadir tecidos próximos ou formarem massas em locais distantes do tumor inicial. Esses tumores vão se tornando mais agressivos ao longo do tempo até se

tomarem letais quando invadem órgãos e tecidos necessários para a sobrevivência do organismo (WEINBERG, 1996).

Sabe-se que a saúde humana pode ser influenciada por diversos fatores ambientais como contaminação, radioatividade, toxinas, poluição, condições climáticas e vetores de doenças (BAILEY, 2001). Neste contexto, existe um contaminante ambiental, de origem natural que, através da sua presença, é capaz de aumentar a radiação de fundo de uma região. Este contaminante é o gás radônio, e estudos epidemiológicos, de caso-controle, assim como experimentos em laboratório com animais e de cultura celular já demonstraram claramente que o Radônio é um agente carcinogênico (AL-ZOUGHLOOL; KREWSKI, 2009). O radônio é formado através do decaimento dos elementos urânio e tório, é um gás nobre, radioativo, que ocorre naturalmente e pode ser encontrado nas rochas e solo, águas superficiais, aquíferos e no ar (SEVERO; SOUSA, 2018). O gás Radônio é a mais importante fonte de radiação ionizante de origem natural do planeta (OMS,2016).

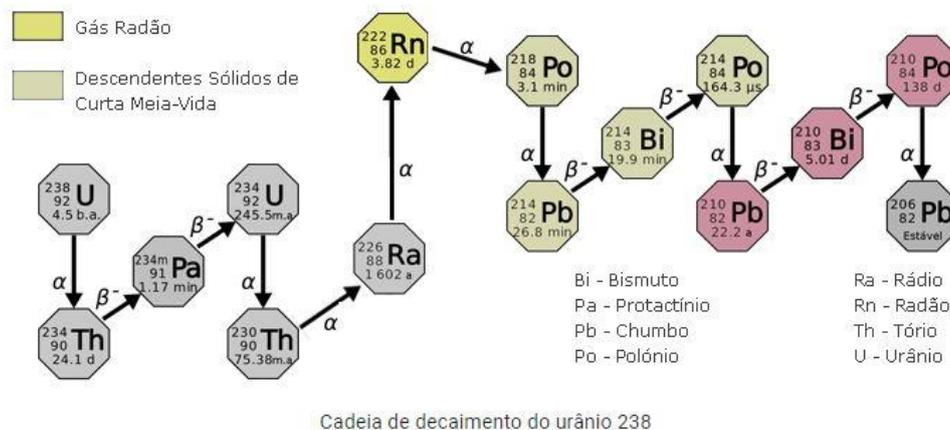


Figura 2: Cadeia de decaimento do urânio com a emissão de partículas radioativas. (FONTE: adaptada de HUGHES; LOMAS, 1993)

Corroborando com a informação da OMS, a revisão sistemática realizada por Da Costa Dantas (2019) sobre radioatividade natural e os riscos associados à saúde humana utilizou 55 artigos publicados no século XXI e a maioria dos estudos reportou que a cadeia de decaimento do Urânio é a principal fonte de exposição humana à radiação ionizante e o Radônio seu principal produtor. O estudo *in vitro* de Hamza (2009) investigou a capacidade do Radônio de provocar lesão no DNA através de ensaios citogenéticos que utilizaram amostras de sangue expostas ao gás em baixas concentrações. Os resultados apresentaram aberrações

cromossômicas e danos no DNA com a presença de micronúcleo, pontes e brotos nas células avaliadas (HAMZA; MOHANKUMAR, 2009).

Quando o radônio é inalado, partículas ionizantes se depositam sobre tecidos e células, podendo interagir e provocar danos ao DNA celular. Estudos epidemiológicos sugerem uma forte relação entre a presença de radônio interior e o aumento da incidência de câncer de pulmão, mesmo quando em baixas concentrações, e o risco de desenvolver a doença aumenta proporcionalmente em relação à concentração do gás (OMS, 2016). Numerosos estudos ao longo dos anos e em múltiplas regiões do planeta obtiveram uma correlação positiva entre a presença de radônio e o aumento de casos de câncer (KJELLBERG; WISEMAN, 1995; DARBY et al., 2006; BOICE; MUMMA; BLOT, 2007; AL-ZOUGHOOL; KREWSKI, 2009; TURNER et al., 2012; OMS, 2016; DA COSTA DANTAS et al., 2019). É importante salientar também que diversos estudos realizados em diferentes municípios do Estado do Rio Grande do Norte demonstraram a presença desse importante contaminante ambiental no ar, água e solos (CORREA et al., 2010; DA COSTA CAMPOS et al., 2013; CHAVES et al., 2016).

O radônio interior já foi previamente associado à ocorrência de diversos tipos de câncer, em estudos nos mais variados lugares. Essa associação ocorre de maneira mais forte ou mais fraca, dependendo do tipo de câncer avaliado. Os tipos de câncer mais comumente pesquisados são o câncer de pulmão, câncer de estômago, câncer de medula óssea, câncer de mama e câncer de pele (KJELLBERG; WISEMAN, 1995; AL-ZOUGHOOL; KREWSKI, 2009; KENDALL; SMITH, 2002; OMS, 2016; VIENNEAU et al, 2017).

#### **1.4 A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (GIS) EM ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS E CÂNCER**

Nos últimos anos ferramentas cada vez mais versáteis vêm sendo desenvolvidas e utilizadas em estudos de saúde, onde métodos sofisticados são capazes de agregar grandes quantidades de informações geográficas e atributos não geográficos e através deles, desenvolver mapas, tabelas, gráficos e análises estatísticas complexas (VINE; DEGNAN; HANCHETTE, 1997). Estas ferramentas são conhecidas como sistemas de informação geográfica ou GIS (*Geographic Information System*), que são tecnologias de mapeamento e análise utilizados para inserir, armazenar, gerenciar, analisar e exibir os dados coletados (VINE; DEGNAN; HANCHETTE, 1997; DE PINA; SANTOS, 2000). Dentre os objetivos do mapeamento das doenças, destacam-se a possibilidade de visualizar o padrão espacial da incidência e suas hipóteses etiológicas, identificar áreas de risco para tomar medidas

preventivas e criar mapas confiáveis que permitam a melhor alocação de recursos (RYTKÖNEN, 2004).

Os GIS são ferramentas que unem as informações estatísticas e temáticas em mapas, sendo capazes, deste modo, de auxiliar na construção de políticas públicas, geração de hipóteses, identificação de áreas que necessitam de intervenção, bem como nas estratégias de controle, decisão e infraestrutura (GOLI et al, 2013). É importante destacar que os GIS não são somente artifícios de cartografia digital, mas ferramentas de informação e análise que permitem o processamento de dados espaciais. Por intermédio dos mapas, entretanto, a visualização de interconexões e relações regionais são reveladas, identificadas e transmitidas (KISTEMANN; DANGENDORF; SCHWEIKART, 2002). Estes sistemas podem ser utilizados em estudos de saúde em nível internacional, nacional ou local, já que os recursos de análise espacial permitem aos usuários examinar e exibir os dados de vigilância epidemiológica, monitoramento de doenças, saúde ambiental, modelação de dados e formação de agregados de maneira eficaz. Por meio da utilização de dados cartográficos e de atributos, os GIS podem descrever, analisar e prever padrões de ocorrências em estudos epidemiológicos com o objetivo de mapear doenças, suavizar as taxas encontradas, detectar agregados e dependências espaciais (*clusters e hot spots*) e realizar a modelagem analítica com identificação de preditores (KIRBY; DELMELLE; EBERTH, 2017).

Um dos principais recursos de um GIS é a sua capacidade de sobrepor as informações coletadas em várias camadas através de um sistema de coordenadas em comum, permitindo ao usuário entender melhor as relações espaciais e as características de cada camada (VINE; DEGNAN; HANCHETTE, 1997). Os GIS possibilitam uma série de agregações de dados e obtém, através das sobreposições, a relação entre as informações de saúde e as variáveis ambientais, sociais, demográficas, econômicas e políticas (NYKIFORUK; FLAMAN, 2011), criando um panorama mais realista para a obtenção de informações e em última análise, das respostas buscadas. Pode-se inferir, portanto, que as três principais funções de um GIS são o armazenamento e integração de grande quantidade de dados georreferenciados, a realização de análises espaciais e estatísticas e a possibilidade de organizar e visualizar estes dados combinados de maneira clara a todos os usuários (DE PINA; SANTOS, 2000).

Dentro de um GIS os dados são agregados majoritariamente através de geocódigos, que permitem visualizar as informações dos bancos de dados de saúde em uma localização (latitude e longitude), associando os dados de atributos aos dados geográficos. Este georreferenciamento deve estar presente em todos os bancos de dados utilizados (gráficos e não gráficos) para permitir a sua ligação (*linkage*). Um GIS também permite que pesquisadores percebam padrões espaciais contidos nos dados obtidos e possam relacionar estes dados com outras variáveis de

saúde (ambientais, sociais e econômicas), unindo as ferramentas visuais cartográficas com as ferramentas estatísticas da epidemiologia (DE PINA; SANTOS, 2000; BREWER, 2006).

Os sistemas de informação geográfica (GIS) podem ser utilizados para o estudo de inúmeras patologias, tanto na sua detecção, no risco envolvido, na busca pela etiologia, dos fatores ambientais implicados, no seu desenvolvimento e nas taxas de mortalidade (AUCHINCLOSS et al., 2012). Desta forma, o câncer que afeta diferentes populações em todo o planeta, nas mais variadas idades, com diferentes níveis socioeconômicos, também pode utilizar os GIS para ampliar a gama de ferramentas de pesquisas, promover o compartilhamento dos dados obtidos e das atividades realizadas em uma área específica, avaliar o atendimento e planejar intervenções nas populações alvo e assim, otimizar os esforços feitos na prevenção (BELL et al., 2006).

Os GIS e a análise espacial em estudos sobre câncer podem ser utilizados para comparar diferentes estágios onde o câncer se encontra, separar os casos de incidência e mortalidade, identificar fatores de risco ambiental, dados sociodemográficos e de saúde de uma população e determinar a existência de agregados de doença (*clusters*) (BHOWMICK et al., 2008). A prevenção do câncer, através do uso de GIS, pode ocorrer com a visualização dos padrões do desenvolvimento da doença e disparidades nas ocorrências, bem como dos fatores de risco. Também é possível compreender como alcançar populações específicas (com maior risco de desenvolver a doença) e avaliar o resultado de ações preventivas e seu progresso (ALCARAZ; KREUTER; BRYAN, 2009).

Em Lian; Struthers e Schootman (2012), os autores utilizaram o sistema de informação geográfica para determinar se a facilidade de acesso ao serviço de mamografia computadorizada, usando medidas geográficas e de densidade do serviço, poderia estar associada à probabilidade de desenvolver câncer de mama em estágio avançado. De acordo com os resultados, a densidade dos serviços de saúde foi mais importante que as distâncias ou medidas que usaram o tempo de percurso mais curto para o desenvolvimento da forma mais avançada da doença.

Mackinnon e colaboradores (2007) procuraram entender como o câncer de mama é distribuído em diferentes áreas no estado da Florida, através de um GIS que comparou as características socioeconômicas locais, bem como informações sobre o diagnóstico de estágios tardios da doença. A análise dos resultados mostrou que o local onde os indivíduos pesquisados viviam interferia diretamente no risco de apresentar um estágio mais avançado de carcinoma e apesar de mulheres com uma condição socioeconômica mais favorável apresentarem uma incidência maior de câncer de mama, as formas mais avançadas da patologia se encontravam em regiões de alta pobreza.

Para Nordsborg (2015), em um estudo que buscava a existência de clusters de linfoma através do GIS, os autores evidenciaram a importância da análise epidemiológica espaço-temporal, que possibilitou revelar padrões não evidenciados anteriormente, especialmente de novos fatores de risco. A pesquisa utilizou dados de fatores de risco e covariáveis conhecidas, mas também substituiu a hipótese nula de aleatoriedade espacial completa por uma hipótese nula com probabilidade de cada indivíduo desenvolver a patologia baseada nos fatores de risco e variáveis conhecidas, detectando desta forma, um pequeno cluster que não havia sido percebido nas análises anteriores

Da mesma forma, em um estudo sobre a equidade de serviços oncológicos no Japão, os autores procuraram observar, através de um GIS, o tempo de viagem que os pacientes precisavam gastar para chegar em seu centro de tratamento. O tempo de viagem é um dos fatores que os autores consideraram fundamental quando se procura a equalização dos serviços médicos e através dos resultados, puderam apresentar um plano de realocação dos recursos (SOBUE, 2018).

Apesar da sua popularização, existe uma dificuldade em agregar os dados espaciais nas pesquisas sobre câncer porque os dados geográficos, de incidência, socioeconômicos, demográficos, de mortalidade, presença de serviços de saúde e ambientais variam muito em suas fontes e escalas. Do mesmo modo, as ferramentas e softwares de análise espacial também tendem a ser bastante complexos, pouco intuitivos e exigem conhecimento e experiência, especialmente quando há a sobreposição de várias camadas de dados, reduzindo o número de agentes que poderiam fazer uso da sua potencialidade (BHOWMICK et al., 2008).

#### 1.4.1 ANÁLISE ESPACIAL

Os sistemas de informação geográfica (GIS) podem avaliar a autocorrelação entre as áreas observadas, onde os valores dos atributos pesquisados em entidades próximas, tem mais chances de apresentarem semelhanças do que entidades mais distantes, seguindo assim a primeira lei da geografia de Tobler, que diz que todas as coisas estão relacionadas, mas as coisas próximas estão mais relacionadas que as distantes. No entanto, é importante observar que nem sempre as distâncias “euclidianas” são os únicos fatores a serem considerados (distância entre dois pontos). As distâncias euclidianas, assim como as distâncias funcionais podem indicar a proximidade entre os atributos pesquisados para a determinação da autocorrelação espacial, tornando a modelagem mais complexa (JERRETT; GALE; KONTGIS, 2010). Um estudo que somente avalie a residência dos sujeitos em municípios geograficamente próximos, mas não leve em consideração a malha viária, por exemplo, pode perder informações relevantes de

influências ambientais (quando os municípios A e B são espacialmente vizinhos, mas não possuem uma ligação com estradas ou pontes entre eles, as populações podem não sofrer as influências esperadas, incorrendo em erro).

Os testes de autocorrelação espacial podem medir a correlação global ou local de determinadas regiões. As análises globais mostram a tendência de valores se correlacionarem mais intimamente no espaço com valores semelhantes (Alto-Alto, Baixo-Baixo) do que seria esperado em uma distribuição aleatória. Os valores positivos na análise de Moran Global ( $p > 0,05$ ) sugerem que altas medidas se agruparão no espaço com outras medidas altas, enquanto valores negativos indicam que medidas altas tendem a se associar a medidas baixas (JERRETT; GALE; KONTGIS, 2010).

Os GIS também podem auxiliar na detecção de agregados (*clusters*) que ocorrem quando o número de casos excede o esperado no modelo nulo. A autocorrelação espacial é positiva quando as diferenças entre as unidades adjacentes forem menores que as diferenças entre as unidades não conectadas (CHUNG; YANG; BELL, 2004). As análises locais, que apontam a formação de agregados, normalmente dividem a área em regiões menores para determinar se estas áreas possuem valores de atributo superiores aos da expectativa aleatória esperada. Quando isso ocorre, agrupamentos ou pontos quentes (*hot spots*) são identificados e a conexão entre os lugares evidencia um efeito real de autocorrelação e dependência espacial. (JERRETT; GALE; KONTGIS, 2010).

Desta forma, o Índice de Moran Global determina a dependência espacial das unidades estudadas, enquanto o Índice de Moran Local identifica a existência de homogeneidade ou diversidade dos dados encontrados. Através destas informações, é possível identificar se os padrões são aleatórios ou apresentam agregação, se é possível medir essa distribuição e se existem padrões associados a determinadas regiões dentro da pesquisa. Assim, de acordo com os resultados obtidos nas análises, é possível determinar se o valor de uma variável é dependente dos valores desta variável nas áreas vizinhas (LUZARDO; CASTEÑEDA FILHO; RUBIM, 2017).

As ferramentas estatísticas presentes em um GIS são capazes de identificar clusters em qualquer nível de significância, possibilitando a visualização em doenças e áreas que não haviam sido previamente identificados ou correlacionados (OPENSHAW et al., 1988).

#### 1.4.2 GEORREFERENCIAMENTO

Os GIS podem integrar dados ambientais como a qualidade da água, irradiação solar, presença de gás radônio e outros agentes contaminantes, com dados de saúde de uma população.

Qualquer fenômeno adverso à saúde, especialmente localizado, pode ser analisado através de uma estrutura de camadas, onde atributos georreferenciados são capazes de ser adicionados, sobrepostos ou removidos. Os mapas temáticos digitais, a partir destas análises e sobreposições, são rapidamente gerados, tarefa que anteriormente levava dias ou semanas. Eles permitem avaliar novas variáveis, realizar análises estatísticas bivariadas e multivariadas, detectar autocorrelações espaciais e criar cenários de probabilidade (CRONER; SPERLING; BROOME, 1996). O caminho que os GIS seguem na evolução das ferramentas inclui a adição de fatores de temporalidade, permitindo a visualização em tempo real dos eventos, a utilização de algoritmos específicos de redução de ruído aleatório e detecção de taxas de agregações incomuns e a utilização de big data, onde ainda mais camadas de informações estarão disponíveis para as pesquisas de saúde (WALL; DEVINE, 2000).

O uso desta ferramenta depende, entretanto, de uma padronização no endereçamento dos dados que serão utilizados no sistema de informação permitindo assim a agregação dessas informações em unidades compatíveis com as áreas previamente reconhecidas e representadas geograficamente. Nos centros urbanos a homogeneização das informações é conseguida com a utilização dos bancos de dados disponíveis e previamente georreferenciados (como os desenvolvidos pelo IBGE, por exemplo), permitindo a realização da análise espacial para cada evento de interesse. Por outro lado, nas localidades rurais ou em menores escalas, dificilmente é encontrada a padronização necessária das unidades de análise que permite agregar ou desagregar as informações de maneira exata (GARNELO; BRANDÃO; LEVINO, 2005).

#### 1.4.3 BANCOS DE DADOS

A qualidade dos dados disponíveis para a utilização em um GIS determina o grau de confiabilidade dos resultados obtidos. Dados inconsistentes resultam em informações não confiáveis, especialmente porque o desenvolvimento de um banco de dados GIS envolve a integração de fontes diferentes, com escalas, estruturas e resoluções espaciais diversas (DE PINA; SANTOS, 2000). As principais fontes abertas de dados em saúde no Brasil são fornecidas pelo Ministério da Saúde através do DATASUS (departamento de informática do SUS), da plataforma IVIS (Secretaria da Vigilância em Saúde) e da FUNASA (Fundação Nacional de Saúde), além de dados fornecidos diretamente por algumas secretarias municipais de saúde. Dentro do portal do DATASUS é possível encontrar as Estatísticas Vitais através do SIM (Sistema de Informação de Mortalidade desde 1979) e do SINASC (Sistema de Informação dos Nascidos Vivos desde 1994), além de dados sobre internações, disponibilidade de leitos, acesso à água tratada, saúde da mulher, saúde da família, bem como outras informações de

saúde relevantes. Também através do DATASUS pode-se verificar o Sistema de Notificação de Agravos (SINAN) onde as doenças de notificação compulsória são comunicadas pelas secretarias de saúde (DE PINA; SANTOS, 2000).

Os dados sociodemográficos são coletados através do censo do IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), realizados no Brasil de dez em dez anos. Estes dados incluem informações sobre população, idade, escolaridade, emprego, renda e moradia, permitindo que se conheça o perfil da população de uma determinada área. Os dados cartográficos no Brasil estão disponíveis em diversos bancos de dados, especialmente no IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), no INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), Prefeituras Municipais, entre outros (DE PINA; SANTOS, 2000).

Muitas vezes a utilização das taxas de óbitos em pesquisa com câncer, ao invés da incidência ou sobrevivência é feita em função da confiabilidade dos dados, já que o escopo e precisão das informações de diagnóstico, triagem e detecção precoce, assim como os critérios para o relato se alteraram ao longo dos anos e das regiões. Muitos municípios pequenos, longe dos grandes centros urbanos não possuem bancos de dados de novos casos de câncer e muitas vezes o diagnóstico é feito em outro local, com mais recursos (BAILAR; GORNIK, 1997).

## **2 OBJETIVOS**

### **Objetivo geral**

Analisar se através da utilização de um Sistema de Informação Geográfica e dados presentes em bancos de dados disponibilizados pelo Ministério da Saúde seria possível verificar a ocorrência de padrões geográficos associando os óbitos por câncer e a presença de radioatividade natural no estado do Rio Grande do Norte.

### **Objetivos específicos**

- Identificar as taxas de mortalidade de tipos de câncer que podem estar associados à presença de radônio, como o câncer de vias aéreas, câncer de mama, câncer de estômago, câncer de medula óssea e câncer de pele;
- Verificar a ocorrência de agregados espaciais dentro do estado;
- Verificar se as ocorrências seguem um padrão geográfico específico;
- Conhecer melhor as ferramentas de GIS e sua utilização na epidemiologia do câncer;
- Avaliar se a “saúde única” está sendo considerada dentro de estudos sobre o câncer que utilizam as ferramentas do GIS.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

O Estado do Rio Grande do Norte, localizado na região Nordeste do Brasil, possui 3.168.027 habitantes de acordo com o último censo realizado em 2010. A densidade demográfica é estimada em 59,99 hab/km<sup>2</sup> e o Índice de Desenvolvimento Humano é de 0,684 (IBGE). O Estado está situado na porção oriental do Brasil e geotectonicamente na Província da Borborema. Sua geodiversidade inclui áreas constituídas predominantemente por rochas cristalinas (ígneas e metamórficas) em relação ao restante, formado por rochas sedimentares. Desta forma, o estado apresenta uma grande variedade de relevo que são esculpidos em sedimentos da Bacia Potiguar (litoral e região norte do estado) e terrenos do embasamento cristalino (PFALTZGRAFF; TORRES, 2010; DE OLIVEIRA; DO NASCIMENTO, 2019).

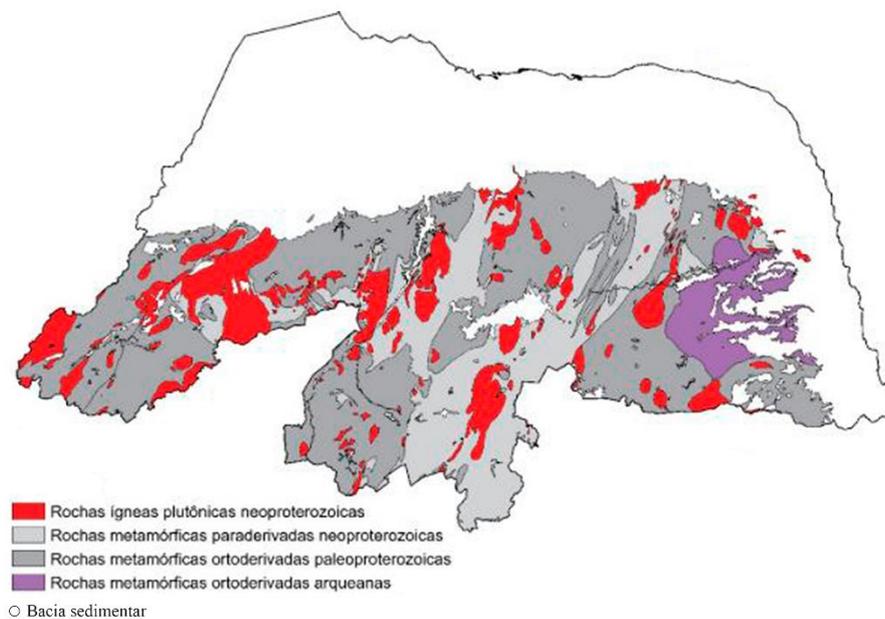


Figura 3: Mapa de classificação de rochas do Estado do Rio Grande do Norte que formam o embasamento cristalino (rochas ígneas plutônicas e rochas metamórficas). (FONTE: adaptada de DE OLIVEIRA; DO NASCIMENTO, 2019).

Elementos responsáveis pela radiação de fundo como o Urânio, o Tório e o Potássio, e mais especificamente o Radônio, que está presente na cadeia de decaimento do Urânio, já foram encontrados em rochas na região formada pelo embasamento cristalino no Rio Grande do Norte, assim como em pegmatitos que constituem a Província Pegmatítica da Borborema (GARCIA et al., 2011; CHAVES et al., 2016; MARCON et al., 2017; CPRM, 2020).

A Província Pegmatítica da Borborema é uma importante província mineral da região

nordeste do Brasil, localizada em um conjunto de terras altas que se distribuem ao longo da fachada do Nordeste brasileiro, ao norte do rio São Francisco, (CORREA et al., 2010) em uma região de clima seco, com má distribuição de chuvas, solos rasos (de arenosos a pedregosos) e susceptíveis a erosão. Possui muitas ocorrências minerais que podem estar ou não associadas aos corpos de pegmatitos (DE REZENDE NASCIMENTO; PETTA; CAMPOS, 2014).

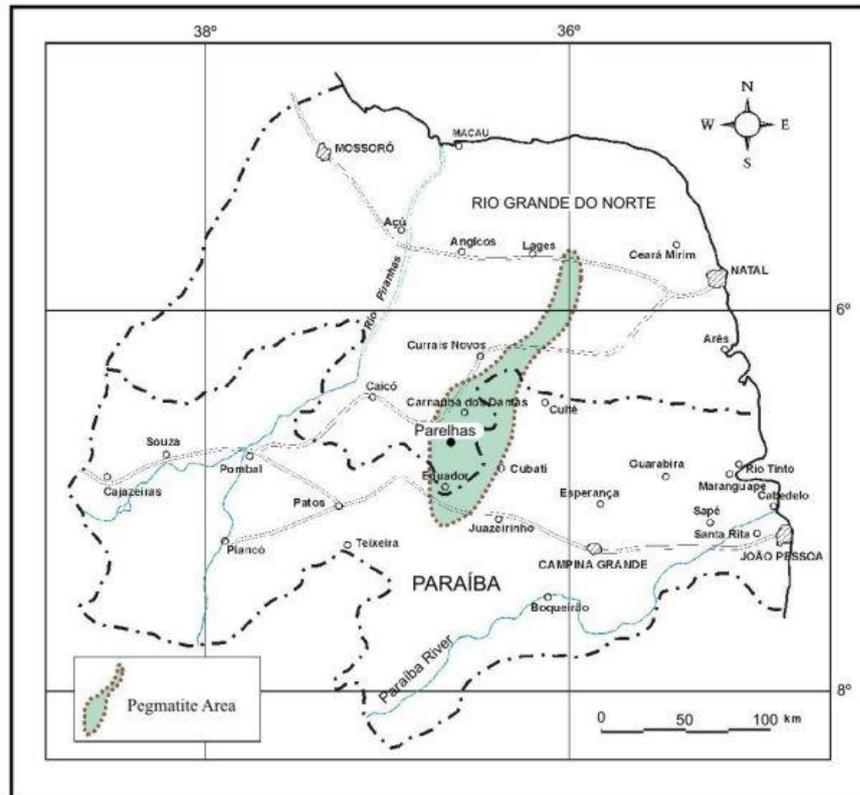


Figura 4: Área da Província Pegmatítica da Borborema. (FONTE: adaptada de DE MOURA, 2013).

Entre as atividades econômicas que são desenvolvidas na região, é importante salientar a atividade de mineração, que é realizada tanto a céu aberto, quanto por túneis subterrâneos. A garimpagem e a agricultura de subsistência da região criaram o sujeito garimpeiro-agricultor, que durante os períodos chuvosos entre janeiro e abril sobrevive da agricultura de subsistência. Nos demais meses quando a região passa frequentemente por períodos de seca, busca o garimpo como fonte de renda (DE REZENDE NASCIMENTO; PETTA; CAMPOS, 2014). A região possui diversos garimpos, que em sua maioria sofrem exploração predatória, arcaica e insegura, com alto risco e pouco retorno para os garimpeiros, funcionando em períodos irregulares e com um aproveitamento inadequado (COSTA-DE-MOURA; SILVA; PEREIRA, 2005). Estudos

prévios na região do Seridó já demonstraram uma correlação positiva entre a ocorrência de patologias respiratórias e a atividade laboral destes garimpeiros (XIMENES; SOUZA; LIMA et al., 2013).

A Província Pegmatítica da Borborema em sua porção potiguar, está situada na região do Seridó, uma área de grande quantidade de corpos pegmatíticos (rochas que contém vários tipos de minerais metálicos e gemas com grande variedade de feldspato, quartzo, mica, gemas e caulim), considerada uma das mais importantes províncias minerais do país (DA COSTA CAMPOS et al., 2013). Os pegmatitos que compõem a região também são caracterizados por possuir níveis importantes de Urânio, Tório e Potássio (SILVA et al., 2010).

O estudo dos pegmatitos que compõem a Província Pegmatítica da Borborema indicou a presença de minerais radioativos, com importantes teores de Urânio e altas taxas radiométricas (COSTA-DE-MOURA; SILVA; PEREIRA, 2005).

A existência de Urânio e Tório nas rochas contribui para a presença de radônio na região. O gás, que é produto de decaimento do urânio, já foi encontrado nas águas, no solo e nas casas das pessoas, sendo um componente importante de risco ambiental para o desenvolvimento de doenças, especialmente o câncer (DA COSTA CAMPOS et al., 2013; DA COSTA DANTAS et al., 2019).

## **4 METODOLOGIA**

### *4.1 Análise Bibliométrica*

A análise bibliométrica utilizou parâmetros para avaliar os estudos sobre Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e câncer, dentro de uma temática de saúde única. Para tanto, foi utilizada a janela temporal de dez anos, entre 2012 e 2021, considerando que o conceito de saúde única é bastante recente, sendo difundido a partir de meados dos anos 2000 e própria ferramenta GIS tem seu uso em saúde popularizado a partir da última década do século XX. Os descritores e operador booleano utilizados foram: “Sistema de Informação geográfica” AND “câncer” AND “saúde única”. Como forma de se obter uma maior abrangência dos estudos foram utilizados os idiomas inglês, português e espanhol nas buscas nos bancos de dados. A base de dados escolhida foi a PubMed, devido a sua relevância na área de saúde. Os artigos selecionados para análise apresentaram os descritores mencionados anteriormente ao longo do texto e/ou resumo e/ou título.

As seguintes informações foram consideradas dentro dos artigos: área de estudo, janela temporal utilizada, método utilizado (análise espacial e/ou análise estatística) tipo de contaminante ambiental estudado e o tipo de câncer. Além disso, outros atributos foram identificados, tais como o ano que o artigo foi publicado, filiação dos autores, a tipologia dos artigos, as revistas que os estudos foram publicados e seus fatores de impacto, a quantidade de citações desses trabalhos com base no Google Scholar e as palavras-chaves utilizadas. Foram considerados como critérios de exclusão os artigos que estavam fora da temática. A análise estatística descritiva utilizou o software Microsoft Excel, para a confecção de mapas temáticos o software QGis e o Nvivo para a geração da nuvem de palavras com base nas palavras-chaves dos artigos avaliados.

#### *4.2 Levantamento epidemiológico*

Todos os 167 municípios do Rio Grande do Norte tiveram seus dados de mortalidade por diferentes tipos de câncer coletados através do sistema de acesso à informação do Portal do Ministério da Saúde e especializados para a geração de mapas temáticos.

##### *4.2.1 Atributos não geográficos*

O TABNET, dentro do Portal DATASUS agrega os dados de mortalidade de 1996 a 2017 pelo CID-10 (Classificação Internacional de Doenças), onde cada patologia tem um código específico e é o grande banco de dados de saúde / mortalidade brasileiro. Cada tipo de câncer foi identificado através do CID respectivo e posteriormente, feita a busca das ocorrências por município de residência dos casos com a abrangência geográfica de todo o estado do Rio Grande do Norte. O período compreendido da busca foi de dez anos (2007-2017), para reduzir os riscos de variáveis de confusão que poderiam ocorrer pela diferença de população dos municípios.

O estudo dividiu as buscas em Câncer Total, que incluiu todos os casos de óbitos por neoplasias malignas nos municípios, utilizando para isso as categorias de CID de C00 a D09; Câncer de Vias Aéreas com as categorias de CID C30 a C39; Câncer de Mama com a categoria de CID C50; Câncer de Medula (linfoma, mieloma, leucemias) com as categorias de CID C83 a C95; Câncer de Estômago com a categoria de CID C16; Câncer de Pele (melanoma e carcinoma) com as categorias de CID C43, C44 e D04. Apesar da maioria dos estudos sobre óbitos relacionados ao Radônio considerar a doença “câncer de pulmão”, o CID não possui essa

única categoria, unindo no CID 34 os óbitos por tumor primário nos “brônquios e pulmões”, desta forma, todos os tumores malignos de vias aéreas foram considerados e não se pôde dissociar somente o “câncer de pulmão” nas patologias pesquisadas.

Também é importante ressaltar que o tipo de câncer avaliado é considerado como o tumor primário dos sujeitos, independente da causa do óbito. Quando o câncer passa pelo CID, é considerado o tumor primário que acometeu o paciente, e não as possíveis metástases que potencialmente provocaram o óbito. Mas como muitos municípios estão distantes de centros de referência para o diagnóstico e tratamento, é fundamental que seja levado em conta o dado “Câncer Geral” para que não se perca a relevância com dados incompletos que poderiam ter sido mal notificados.

Para acessar as informações, existe uma sequência que deve ser seguida dentro do portal do ministério da saúde (DATASUS (<http://datasus.saude.gov.br/>)).

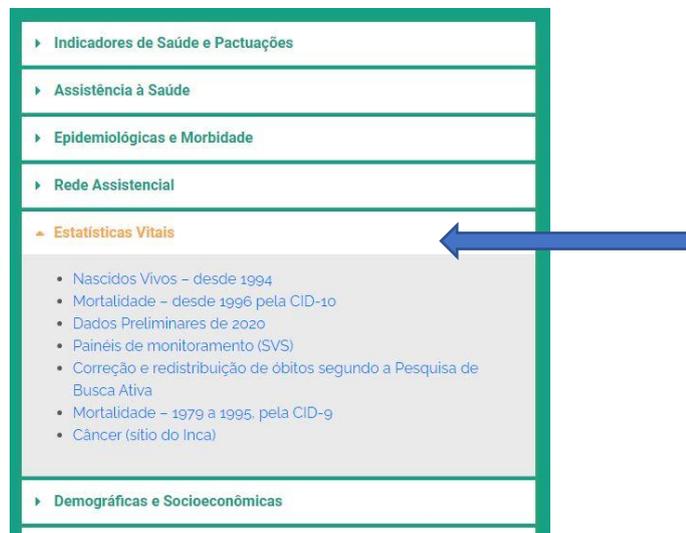


Figura 5: Imagem do Portal do Ministério da Saúde – DATASUS.

Após selecionar a opção TABNET, Estatísticas Vitais, foi necessário identificar a localização (municípios do estado do Rio Grande do Norte, assim como a identificação dos óbitos por área de residência. Isso impede que a variável de confusão de onde o paciente recebeu o tratamento ou sofreu o óbito interfiram na informação ambiental buscada.

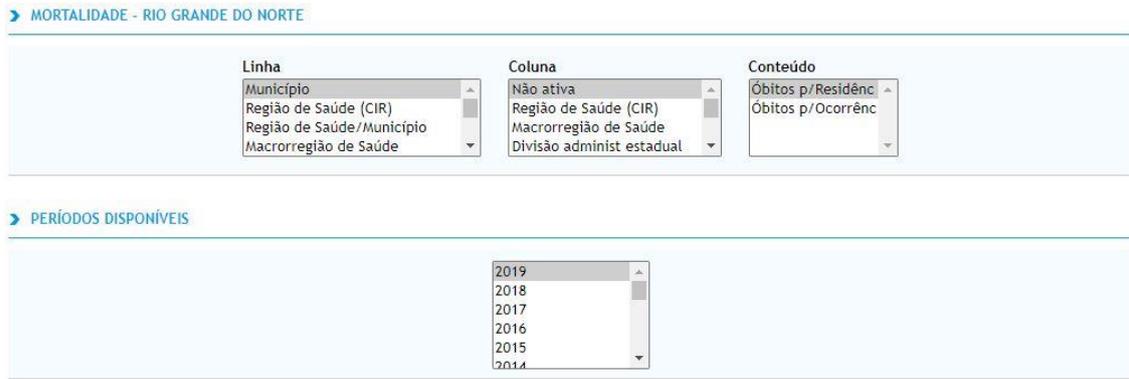


Figura 6: Imagem do TABNET / DATASUS em Estatísticas vitais (óbitos).

A próxima etapa consistiu na escolha, através do CID (Código Internacional de Doenças), dos tipos de câncer que foram selecionados para a visualização em todos os municípios do estado.

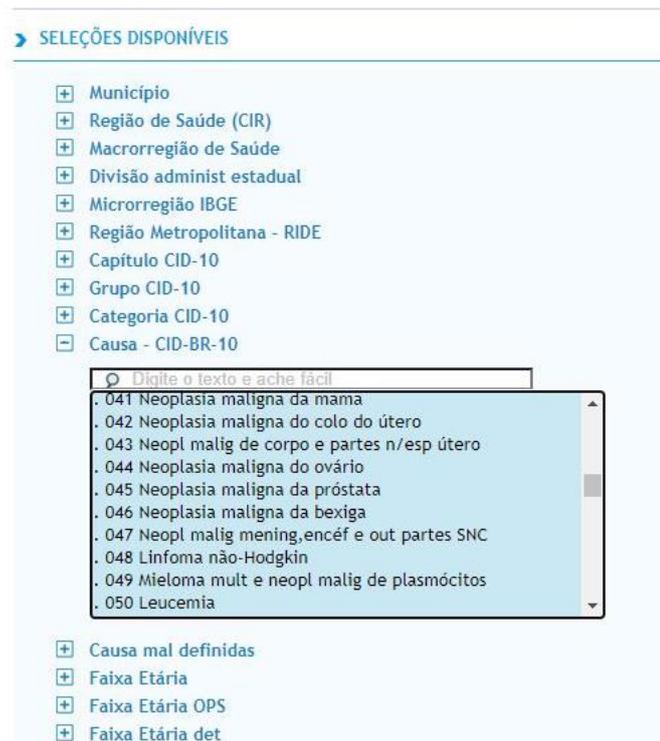


Figura 7: Imagem do TABNET / DATASUS em seleção do CID da doença.

#### 4.2.2 Análise dos dados e espacialização

Os dados foram ponderados, apresentando os resultados divididos pela população de cada município e ocorrência padronizada por 100.000 habitantes no programa **IBMSPPSS®**.

Os dados cartográficos (arquivos *shape*) foram obtidos através de busca no portal do

IBGE (<https://www.ibge.gov.br/>), CPRM ([http://cprm.gov.br.](http://cprm.gov.br)) e cedidos pelos autores De Oliveira e Do Nascimento (2019).

Através do Sistema de Informação Geográfica **TerraView**, os dados de mortalidade e de tipo de solo presente nos municípios foram sobrepostos e, com a utilização dos arquivos *shapes* foi criado um banco de dados georrelacional e os mapas temáticos de agregação.

A análise estatística de Moran Global e Moran Local, assim como as análises bivariadas, foram realizadas através do programa **GeoDa**, com o objetivo de identificar a existência de dependência espacial, assim como fazer o cruzamento dos dados sobre óbitos com a presença de rochas ígneas e/ou metamórficas no solo dos municípios. A análise de proximidade ou Moran Local trabalha com valores de -1 a +1. Todos os valores de 0 a +1 representam uma correlação espacial positiva.

## 5 REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

AGUIRRE, A. Alonso et al. The one health approach to toxoplasmosis: epidemiology, control, and prevention strategies. **EcoHealth**, v. 16, n. 2, p. 378-390, 2019.

ALCARAZ, Kassandra I.; KREUTER, Matthew W.; BRYAN, Rebecca P. Use of GIS to identify optimal settings for cancer prevention and control in African American communities. **Preventive medicine**, v. 49, n. 1, p. 54-57, 2009.

AL-ZOUGHLOOL, Mustafa; KREWSKI, Daniel. Health effects of radon: a review of the literature. **International journal of radiation biology**, v. 85, n. 1, p. 57-69, 2009.

ATLAS, Ronald M. One Health: its origins and future. **One health: The human-animal-environment interfaces in emerging infectious diseases**, p. 1-13, 2012.

AUCHINCLOSS, Amy H. et al. A review of spatial methods in epidemiology, 2000–2010. **Annual review of public health**, v. 33, p. 107-122, 2012.

BAILAR, John C.; GORNIK, Heather L. Cancer undefeated. **New England Journal of Medicine**, v. 336, n. 22, p. 1569-1574, 1997.

BAILEY, Trevor C. Spatial statistical methods in health. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 17, n. 5, p. 1083-1098, 2001.

BEHRAVESH, C. Barton. One Health: over a decade of progress on the road to sustainability Introduction. **REVUE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE-OFFICE INTERNATIONAL DES EPIZOOTIES**, v. 38, n. 1, p. 21-29, 2019.

BELL, B. Sue et al. Current practices in spatial analysis of cancer data: mapping health statistics to inform policymakers and the public. **International journal of health geographics**, v. 5, n. 1, p. 1-14, 2006.

BHATIA, Rajiv; WERNHAM, Aaron. Integrating human health into environmental impact assessment: an unrealized opportunity for environmental health and justice. **Environmental Health Perspectives**, v. 116, n. 8, p. 991-1000, 2008.

BHOWMICK, Tanuka et al. Informing geospatial toolset design: understanding the process of cancer data exploration and analysis. **Health & place**, v. 14, n. 3, p. 576-607, 2008.

BOICE JR, John D.; MUMMA, Michael T.; BLOT, William J. Cancer and noncancer mortality in populations living near uranium and vanadium mining and milling operations in Montrose County, Colorado, 1950–2000. **Radiation research**, v. 167, n. 6, p. 711-726, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **INCA** Instituto Nacional de Câncer (Brasil), 2021.

BREWER, Cynthia A. Basic mapping principles for visualizing cancer data using geographic information systems (GIS). **American journal of preventive medicine**, v. 30, n. 2, p. S25-S36, 2006.

CLEAVELAND, Sarah et al. One Health contributions towards more effective and equitable approaches to health in low-and middle-income countries. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 372, n. 1725, p. 20160168, 2017.

CHAVES, L. C. C. et al. Water mutagenic potential assessment on a semiarid aquatic ecosystem under influence of heavy metals and natural radioactivity using micronuclei test. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 8, p. 7572-7581, 2016.

CHUNG, Kyusuk; YANG, Duck-Hye; BELL, Ralph. Health and GIS: toward spatial statistical analyses. **Journal of medical systems**, v. 28, n. 4, p. 349-360, 2004.

CORREA, A. C. B.; TAVARES, B. DE A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do planalto da borborema. **Revista do Instituto Geológico**, v.31, p. 35-52, 2010.

COSTA-DE-MOURA, J.; SILVA, L. F.; PEREIRA, V. Pegmatitos radioativos da Serra da Borborema: mineralogia e geoquímica de radiominerais e de minerais radioativos. In: **X Congresso Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica do MERCOSUL**, 2005.

CPRM. (2020). Mapa radiométrico ternário da Província da Borborema. Natal: CPRM / Serv. Geol. Brasil. URL: <http://cprm.gov.br>. Acesso em 24.01.2022.

CRONER, Charles M.; SPERLING, Jonathan; BROOME, Frederick R. Geographic information systems (GIS): new perspectives in understanding human health and environmental relationships. **Statistics in medicine**, v. 15, n. 18, p. 1961-1977, 1996.

DA COSTA CAMPOS, T. F. et al. O Gás Radônio E A Radiação Natural Em Terrenos Metagraníticos e Pegma-Títicos: O Caso Do Município De Lages Pintadas (Rio Grande Do Norte, Brasil). **Geologia**, v. 26, n. 02, 45-52, 2013.

DA COSTA DANTAS, R. et al. Natural radioactivity in Brazil: a systematic review. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-15, 2019.

DARBY, Sarah et al. Residential radon and lung cancer—detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14 208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. **Scandinavian journal of work, environment & health**, p. 1-84, 2006.

DE OLIVEIRA, R. R.; DO NASCIMENTO, M. A. L. Mapa geológico simplificado do estado Do Rio Grande Do Norte: representação cartográfica de elementos geológicos para divulgação das Geociências. **Terrae Didactica**, v. 15, p. e019003-e019003, 2019.

DE PINA, Maria de Fátima; SANTOS, Simone M. Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde. 2000.

DE MOURA, Jorge Costa. **Assinatura Geoquímica de columbita-tantalita e levantamento radiométrico de pegmatitos radioativos da região de Parelhas, Rio Grande do Norte, Brasil**. 2013. Tese de Doutorado. Tese de doutorado, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DE REZENDE NASCIMENTO, P.S.; PETTA, R. A.; CAMPOS, T. Mapeamento temático da Província Pegmatítica Borborema no estado do Rio Grande do Norte: municípios de Parelhas e Equador. **Revista GeoNordeste**, n. 3, p. 57-72, 2014.

DE SOUZA, Nazareth Hermínia Araújo et al. Câncer de mama em mulheres jovens: estudo epidemiológico no Nordeste brasileiro. **SANARE-Revista de Políticas Públicas**, v. 16, n. 2, 2017.

DESTOUMIEUX-GARZÓN, Delphine et al. The one health concept: 10 years old and a long road ahead. *Frontiers in veterinary science*, v. 5, p. 14, 2018.

DUMMER, Trevor JB. Health geography: supporting public health policy and planning. **Cmaj**, v. 178, n. 9, p. 1177-1180, 2008.

FORGET, Gilles; LEBEL, Jean. An ecosystem approach to human health. **International Journal of Occupational and Environmental Health**. V.7, p.603-616, 2001.

GARCIA, A. C. F. S. et al. Micronucleus study of the quality and mutagenicity of surface water from a semi-arid region. **J of Envl Monitoring**, v. 13, n. 12, p. 3329-3335, 2011.

GARNELO, Luiza; BRANDÃO, Luiz Carlos; LEVINO, Antônio. Dimensões e potencialidades dos sistemas de informação geográfica na saúde indígena. **Revista de Saúde Pública**, v. 39, p. 634-640, 2005.

GOLDBAUM, Moisés. Epidemiologia e serviços de saúde. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 12, p. S95-S98, 1996.

GOLI, Ali et al. The spatial distribution of cancer incidence in fars province: a GIS-based analysis of cancer registry data. **International journal of preventive medicine**, v. 4, n. 10, p. 1122, 2013.

HAMZA, V. Zareena; MOHANKUMAR, Mary N. Cytogenetic damage in human blood lymphocytes exposed in vitro to radon. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 661, n. 1-2, p. 1-9, 2009.

HINO, Paula et al. Geoprocessing in health area. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 14, n. 6, p. 939-943, 2006.

HOEK, Gerard et al. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. **The lancet**, v. 360, n. 9341, p. 1203-1209, 2002.

HUGHES, J.; LOMAS, P. Fontes naturais de radiação ionizante na Europa. **edições Green, Comissão das Comunidades Europeias, Oslo**, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censos demográficos/2010. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 15 set. 2019.

JERRETT, Michael; GALE, Sara; KONTGIS, Caitlin. Spatial modeling in environmental and public health research. **International journal of environmental research and public health**, v. 7, n. 4, p. 1302-1329, 2010.

KENDALL, G. M.; SMITH, T. J. Doses to organs and tissues from radon and its decay products. **Journal of Radiological Protection**, v. 22, n. 4, p. 389, 2002.

KIRBY, Russell S.; DELMELLE, Eric; EBERTH, Jan M. Advances in spatial epidemiology and geographic information systems. **Annals of epidemiology**, v. 27, n. 1, p. 1-9, 2017.

KISTEMANN, Thomas; DANGENDORF, Friederike; SCHWEIKART, Jürgen. New perspectives on the use of Geographical Information Systems (GIS) in environmental health sciences. **International journal of hygiene and environmental health**, v. 205, n. 3, p. 169-181, 2002.

KJELLBERG, Sten; WISEMAN, Jeffrey S. The relationship of radon to gastrointestinal malignancies. **The American surgeon**, v. 61, n. 9, p. 822-825, 1995.

KRIEGER, Nancy. Place, space, and health: GIS and epidemiology. **Epidemiology**, v. 14, n. 4, p. 384-385, 2003.

LIAN, Min; STRUTHERS, James; SCHOOTMAN, Mario. Comparing GIS-based measures in access to mammography and their validity in predicting neighborhood risk of late-stage breast cancer. **PLoS One**, v.7, n.8, 2012.

LIMA-COSTA, Maria Fernanda; BARRETO, Sandhi Maria. Tipos de estudos epidemiológicos: conceitos básicos e aplicações na área do envelhecimento. **Epidemiologia e serviços de saúde**, v. 12, n. 4, p. 189-201, 2003.

LUZARDO, Antonio José Rocha; CASTAÑEDA FILHO, Rafael March; RUBIM, Igor Brum. Análise espacial exploratória com o emprego do Índice de Moran. **GEOgraphia**, v. 19, n. 40, p. 161-179, 2017.

MACKINNON, Jill Amlong et al. Detecting an association between socioeconomic status and late-stage breast cancer using spatial analysis and area-based measures. **Cancer Epidemiology and Prevention Biomarkers**, v. 16, n. 4, p. 756-762, 2007.

MARCON, A. E. et al. Mutagenic potential assessment associated with human exposure to natural radioactivity. **Chemosphere**, v. 167, p. 36-43, 2017.

NORDSBORG, Rikke Baastrup et al. Investigation of spatio-temporal cancer clusters using residential histories in a case-control study of non-Hodgkin lymphoma in the United States. **Environmental Health**, v. 14, n. 1, p. 1-8, 2015.

NYKIFORUK, Candace IJ; FLAMAN, Laura M. Geographic information systems (GIS) for health promotion and public health: a review. **Health promotion practice**, v. 12, n. 1, p. 63-73, 2011.

OMS -Manual da OMS sobre radônio em ambientes internos: uma perspectiva de saúde pública / editado por Hajo Zeeb e Ferid Shannoun. São Paulo, SP: 1ª Edição, 120p 2016.

- OPENSHAW, Stan et al. Investigation of leukaemia clusters by use of a geographical analysis machine. **The Lancet**, v. 331, n. 8580, p. 272-273, 1988.
- PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos; TORRES, Fernanda Soares de Miranda. Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte. 2010.
- PHAN, Long Thanh et al. Quality of Life and Factors Affecting It: A Study Among People Living Near a Solid Waste Management Facility. **Frontiers in public health**, v. 9, 2021.
- ROSA, William E.; HASSMILLER, Susan B. The Sustainable Development Goals and building a culture of health. **AJN The American Journal of Nursing**, v. 120, n. 6, p. 69-71, 2020.
- RYTKÖNEN, Mika JP. Not all maps are equal: GIS and spatial analysis in epidemiology. **International journal of circumpolar health**, v. 63, n. 1, p. 9-24, 2004.
- SEN, Amartya K. Porque é necessário preservar a coruja-pintada. **Folha de S. Paulo**, v. 14, p. 16-18, 2004.
- SEVERO, E.; SOUSA, H. O Risco do Radônio em Ambientes Internos. **CIAIQ2018**, v. 3, 2018.
- SILVA, S. M. P. D. et al. Espectrometria de raios gama de granitos pegmatíticos da Província Pegmatítica da Borborema (PPB), nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, n. 4, p. 673-690, 2010.
- SINCLAIR, Julie R. Importance of a One Health approach in advancing global health security and the Sustainable Development Goals. **Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)**, v. 38, n. 1, p. 145-154, 2019.
- SOBUE, Tomotaka. Evaluation of equalization of cancer medical services in Japan using public database in Japan. **Journal of epidemiology**, p. JE20180057, 2018.
- TURNER, Michelle C. et al. Radon and nonrespiratory mortality in the American Cancer Society cohort. **American journal of epidemiology**, v. 176, n. 9, p. 808-814, 2012.
- VIENNEAU, Danielle et al. Effects of radon and UV exposure on skin cancer mortality in Switzerland. **Environmental health perspectives**, v. 125, n. 6, p. 067009, 2017.
- VINE, Marilyn F.; DEGNAN, Darrah; HANCHETTE, Carol. Geographic information systems: their use in environmental epidemiologic research. **Environmental health perspectives**, v. 105, n. 6, p. 598-605, 1997.

WALL, Patrick A.; DEVINE, Owen J. Interactive analysis of the spatial distribution of disease using a geographic information systems. **Journal of Geographical Systems**, v. 2, n. 3, p. 243-256, 2000.

WATERS, William F. Globalization, socioeconomic restructuring, and community health. **Journal of Community Health**, v. 26, n. 2, p. 79-92, 2001.

WEINBERG, Robert A. How cancer arises. **Scientific American**, v. 275, n. 3, p. 62-70, 1996.

XIMENES, Maria de Fátima Freire de Melo; SOUZA, Raquel Franco; **Meio Ambiente e Saúde Humana: práticas, vivências e saberes**. In: LIMA, Elisângela Maria et al. Doenças respiratórias e sua vinculação com a atividade ocupacional em pacientes de um hospital público do Seridó no Rio Grande do Norte, entre os anos de 1996-2006. Natal: EDUFRN, p.308-323, 2013.

ZINSSTAG, Jakob et al. From “one medicine” to “one health” and systemic approaches to health and well-being. **Preventive veterinary medicine**, v. 101, n. 3-4, p. 148-156, 2011.

## 6 CAPÍTULO 1

# **SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E SUA UTILIZAÇÃO COMO FERRAMENTA NA PROMOÇÃO DE SAÚDE ÚNICA: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA**

# SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E SUA UTILIZAÇÃO COMO FERRAMENTA NA PROMOÇÃO DE SAÚDE ÚNICA: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Simone Martinelli<sup>1</sup>✉, Rafaela dos Santos Costa<sup>1</sup>, Amanda Nogueira Medeiros<sup>1</sup>, Julio Alejandro Navoni<sup>1,2</sup>✉

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA-UFRN) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte;

<sup>2</sup> Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais (DIAREN), 59015-000, Natal, Brasil

✉ [simonemartinelli2014@gmail.com](mailto:simonemartinelli2014@gmail.com); [navoni.julio@gmail.com](mailto:navoni.julio@gmail.com)

## Resumo

Considerando a ampla utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (GIS) na área da saúde, o presente estudo de análise bibliométrica buscou identificar como o emprego dessa ferramenta está contribuindo para pesquisas sobre o câncer em todo o mundo, em um contexto de saúde única. Para tanto, foi realizada uma busca no banco de dados PubMed, compreendendo o período de 2012 a 2021 onde os descritores foram: “Sistema de Informação geográfica”, “câncer” e “saúde única”. Os resultados foram divididos em análise estrutural e análise das informações contidas nos artigos, que englobaram a presença de elementos de contaminação e/ou aspectos ambientais naturais relacionados à ocorrência de câncer. Todos os artigos analisados estavam descritos em inglês, demonstrando uma predominância deste idioma na abordagem utilizada. Constatou-se que com base nos descritores selecionados, os resultados ficaram concentrados em países mais desenvolvidos, evidenciando a necessidade da ampliação do conceito nos demais países. Sendo o câncer uma doença multifatorial, que envolve genética, comportamento e o local em que o indivíduo está inserido, bem como provoca óbitos em todas as regiões do planeta, o conceito de saúde única, que relaciona a saúde humana, animal e o ambiente interdisciplinarmente deve ser incentivado.

**Palavras-chaves:** *Promoção de Saúde, Câncer, Saúde Ambiental, Análise Espacial*

## Abstract

Considering the wide use of Geographic Information Systems (GIS) in the health area, the present study of bibliometric analysis sought to identify how the use of this tool is contributing to cancer research around the world, in a “one health” context. Therefore, a search was carried out in the PubMed database, covering the period from 2012 to 2021, where the descriptors were: “Geographical Information System”, “cancer” and “one health”. The results were divided into structural analysis and analysis of the information contained in the articles, which included the presence of elements of contamination and/or natural environmental aspects related to the occurrence of cancer. All articles analyzed were described in English, demonstrating a predominance of this language in the approach used. It was found that based on the selected descriptors, the results were concentrated in more developed countries, evidencing the need to expand the concept in other countries. Since cancer is a multifactorial disease, which involves genetics, behavior, and the place where the individual is inserted, as well as causing deaths in all regions of the planet, the concept of “one health”, which relates human, animal and environmental health in an interdisciplinary way should be encouraged.

**Keywords:** *Health Promotion, Cancer, Environmental Health, Spatial Analysis*

## **Introdução**

Compreender como o espaço funciona para uma população possibilita entender como as doenças se desenvolvem e se distribuem em um determinado momento (SANTOS, 2002; BONFIM; MEDEIROS, 2008). Os padrões encontrados de propagação, mortalidade, transmissão ou transferência de comportamentos são dados que precisam ser analisados quando busca-se determinar a etiologia, o desenvolvimento, a mitigação e o tratamento de uma patologia (CARVALHO; SOUZA-SANTOS, 2005). Do mesmo modo, as condições ambientais, sociais e econômicas não podem ser dissociadas, uma vez que o ambiente onde o indivíduo está inserido possui atributos específicos que podem interferir na sua vida (BHATIA; WERNHAM, 2008; KIRBY; DELMELLE; EBERTH, 2017). As desigualdades socioeconômicas, as inequidades e a pobreza, também devem ser consideradas (DUMMER, 2008) e a identificação do seu impacto pode resultar em novas políticas, em medidas regulatórias e novos projetos de proteção e promoção de saúde (BHATIA; WERNHAM, 2008).

A globalização, a industrialização, a alteração nos padrões de vida e consumo, mudanças demográficas (com o aumento da expectativa de vida) ocorridas nas populações a partir do final do último século propiciaram o aumento das ocorrências de câncer e doenças vasculares (WATERS, 2001). A prevalência do câncer tem crescido em todo o mundo, sendo desta forma considerado um dos mais importantes problemas de saúde pública, causando milhões de óbitos todos os anos e sendo responsável por mais de 12% das suas causas. Cada região do planeta apresenta um padrão de distribuição particular, em decorrência da multifatoriedade desta patologia e das diferentes características de cada região (GUERRA et al. 2005).

Nesse sentido, o conceito de saúde única se apresenta como uma abordagem multidisciplinar, envolvendo o sinergismo de diferentes áreas do conhecimento (ciências de campo, métodos analíticos, ciências laboratoriais) em nível local e global com objetivo de garantir uma saúde de qualidade para todos, humanos, animais e ecossistemas (HRISTOVSKI et al. 2010; CUNNINGHAM et al. 2017). O termo “saúde única” começou a ser utilizado em meados dos anos 2000, considerando a saúde do meio ambiente e da fauna como relevantes para o processo saúde/doença humanas, especialmente se tratando de zoonoses. Desta forma, a abordagem integrativa e transdisciplinar quando se trata do estudo das doenças nos seres humanos deve ser considerada também envolvendo outros tipos de patologias (DESTOUMIEUX-GARZÓN et al. 2018).

Com essa perspectiva, a epidemiologia moderna tem agregado fatores ambientais e sociais na investigação por etiologias, procurando incorporar cada vez mais a relação espacial nas suas pesquisas (KIRBY; DELMELLE; EBERTH, 2017), associando desta maneira, o aparecimento das doenças e suas causas a um local e os padrões geográficos das ocorrências

(SABEL et al., 2009). O estudo da epidemiologia, através da análise de dados espaciais de saúde, demonstra ainda mais claramente o impacto do “lugar” no processo saúde/doença e como o tratamento destes dados (cálculos de distância, agregação, agrupamento, suavização, interpolação espacial e regressão espacial) permite que os resultados reflitam a realidade (AUCHINCLOSS et al., 2010).

Desta maneira, os Sistemas de Informação Geográfica (GIS) têm sido amplamente utilizados na área da saúde em pesquisa epidemiológica, nas tomadas de decisão, planejamento, gestão e disseminação das informações, bem como na visualização das variações regionais dos problemas de saúde, riscos ambientais e utilização dos serviços de saúde (RYTKÖNEN, 2004). A sua utilização em estudos de câncer permite a visualização da distribuição espacial da doença e é capaz de fornecer informações precisas e de fácil acesso, contribuindo para a implementação de atividades de prevenção e tratamento regionalizadas (GOLI et al., 2013).

Apesar da ampla funcionalidade do GIS e as possibilidades de correlação na área de saúde, é relevante compreender como essa ferramenta tem sido empregada. Nesse sentido, a análise bibliométrica ajuda a identificar padrões na produção científica, revelar tendências no universo da pesquisa, assim como reconhecer as colaborações acadêmicas que estão ocorrendo (LI; ZHAO, 2015).

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo desenvolver uma análise bibliométrica sobre as pesquisas que envolvem a aplicação do GIS e sua relação com o câncer no contexto da saúde única.

## **Metodologia**

Foi realizada uma análise bibliométrica da utilização de Sistemas de Informação geográfica (GIS) envolvendo a problemática de saúde única e a relação com câncer. Considerando que o conceito de saúde única é bastante recente, sendo utilizado a partir de meados dos anos 2000, atribuiu-se uma janela temporal de 10 anos, considerando 2012-2021, já que o GIS é uma ferramenta que tem sido amplamente utilizada no âmbito da saúde nas últimas décadas. Os descritores e operador booleano utilizados foram: “Sistema de Informação geográfica” AND “câncer” AND “saúde única”. Como forma de se obter uma maior abrangência dos estudos foram utilizados os idiomas inglês, português e espanhol nas buscas nos bancos de dados. A base de dados escolhida foi a PubMed, devido a sua relevância na área de saúde. Os artigos selecionados para análise apresentaram os descritores mencionados anteriormente ao longo do texto e/ou resumo e/ou título.

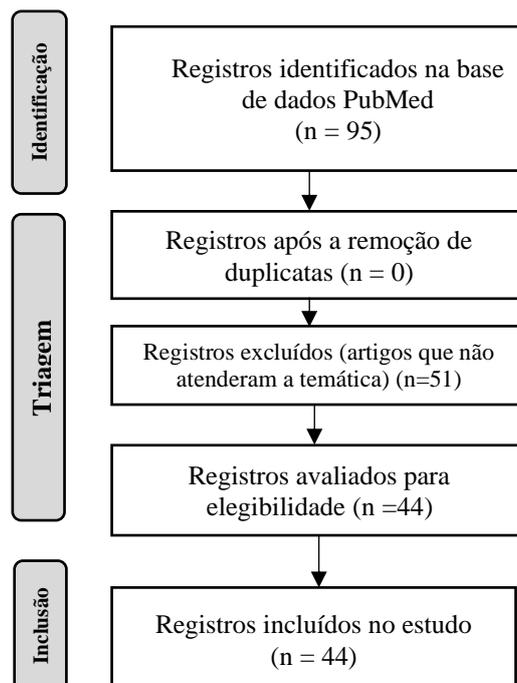
Foram extraídos dos artigos avaliados os seguintes critérios: área de estudo, janela temporal utilizada, método utilizado (análise espacial e/ou análise estatística) tipo de contaminante ambiental estudado e o tipo de câncer. Além disso, outros atributos foram identificados, tais como o ano que o artigo foi publicado, filiação dos autores, a tipologia dos artigos, as revistas que os estudos foram publicados e seus fatores de impacto, a quantidade de citações desses trabalhos com base no Google Scholar e as palavras-chaves utilizadas. Foram considerados como critérios de exclusão os artigos que estavam fora da temática.

Para a análise estatística foram utilizados os softwares Microsoft Excel para a análise descritiva, QGis para confecção de mapas temáticos e Nvivo para a geração de nuvem de palavras com base nas palavras-chaves dos artigos avaliados quando essas foram disponibilizadas.

## Resultados e discussões

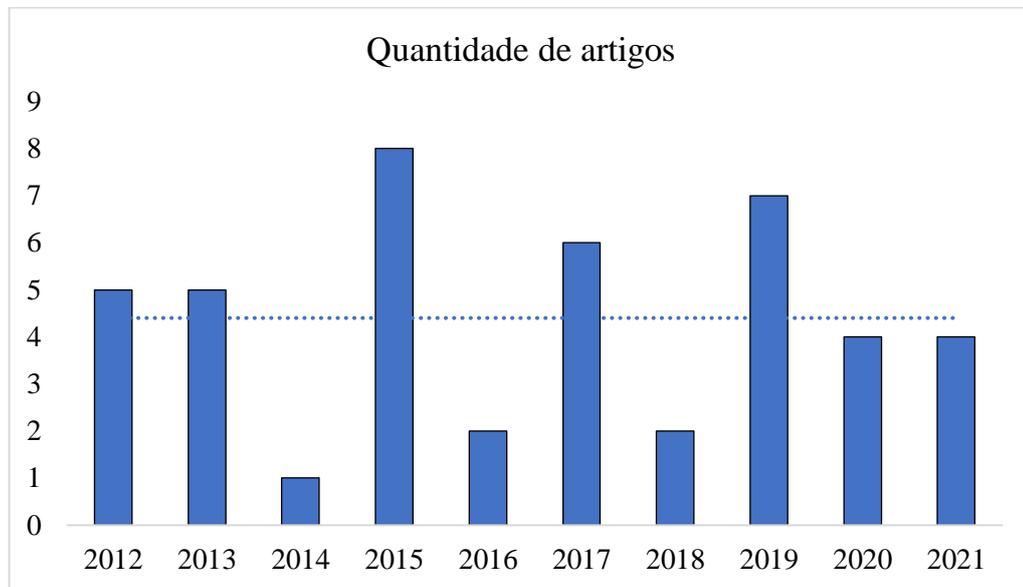
### *Análise estrutural dos artigos*

Com base na estratégia de busca definida, foram selecionados para análise 44 artigos científicos (Figura 1).



**Figura 1:** Matérias elegíveis para análise. Fonte: Adaptado de PRISMA (Page et al. 2020).

Em relação à escala temporal compreendida nos dez anos selecionados, verificou-se uma maior quantidade de publicações no ano de 2015 ( $n=8$ ), em contrapartida o ano anterior apresentou o menor registro de estudo ( $n=1$ ) (Figura 2).



**Figura 2-** Distribuição temporal das publicações analisadas.

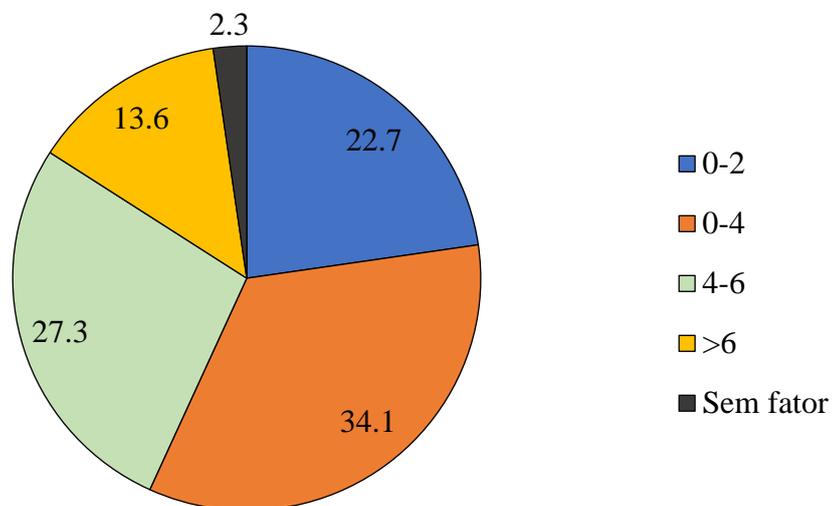
No que tange a autoria dos trabalhos apreciados, observou-se que Argentina (2,3%), França (2,3%), Itália (2,3%), Jordânia (2,3%) e Tailândia (2,3%) apresentaram pelo menos um pesquisador com filiação destes países citados. Foi identificado que Canadá e China apresentaram três estudos cada (13,6%), seguidos do Irã com 11,4% ( $n=5$ ). A colaboração entre os autores representou 20,5% ( $n=9$ ) e majoritariamente a filiação de pesquisadores foi oriunda dos Estados Unidos com 43,2% ( $n=19$ ).

No estudo bibliométrico de Li e Zhao (2015) sobre avaliação ambiental global, os EUA e o Reino Unido apresentaram o índice H mais alto, indicando desta forma, que possuem uma maior qualidade nas suas publicações, mesmo quando comparados a outros países desenvolvidos. Do mesmo modo, os EUA produziram o maior número de artigos em colaboração internacional, seguidos do Reino Unido, Canadá e Alemanha. As publicações de colaboração internacional representaram 22,3% dos estudos analisados, enquanto 77,14% eram publicações de um único país. De forma similar, Wang e colaboradores (2019) ao realizarem um levantamento bibliométrico sobre estudos de câncer, verificaram que os Estados Unidos são o país com a maior quantidade de publicações sobre essa temática. Em contrapartida, a desigualdade encontrada na revisão bibliométrica realizada na África do Sul sobre câncer colorretal, por Magwaza; Van Hal; Hoque (2021), evidenciou que quando a filiação dos autores

foi considerada, estes encontravam-se principalmente em grandes centros urbanos e hospitais regionais, mostrando que houve um desequilíbrio na geração e gestão do conhecimento. Os resultados encontrados neste estudo, bem como a literatura reportada, reforçam que os países desenvolvidos apresentam uma maior produção acadêmica e acredita-se que esse fator pode ter uma relação com a presença de maiores recursos financeiros e estruturais disponíveis.

Em relação a tipologia dos artigos, estudos de revisão representaram 6,8% (n=3), enquanto as pesquisas de cunho original corresponderam a 93,2% (n=41) dos periódicos investigados. Cabe ressaltar que apesar de terem sido empregados os descritores em português, inglês e espanhol, todos os artigos analisados foram publicados no idioma inglês, revelando uma prevalência deste idioma na temática pesquisada. Os 44 estudos avaliados foram distribuídos em 34 revistas científicas, com fator de impacto variando de 0,951 até 7,963, com exceção de uma revista que não apresentou fator de impacto (Figura 3).

Fator de impacto dos artigos avaliados (%)



**Figura 3-** Classificação do fator de impacto dos periódicos investigados.

Sobre a quantidade de citações, os artigos examinados apresentaram desde a ausência de referências até 101 menções em outros estudos. Conforme a seguinte classificação: 1-25 foram 70,5% (n=31); 26-50 foram 15,9% (n=7); 51-75 foram 6,8% (n=3); acima de 75 foi 2,3% (n=1) e sem citações 4,5% (n=2).

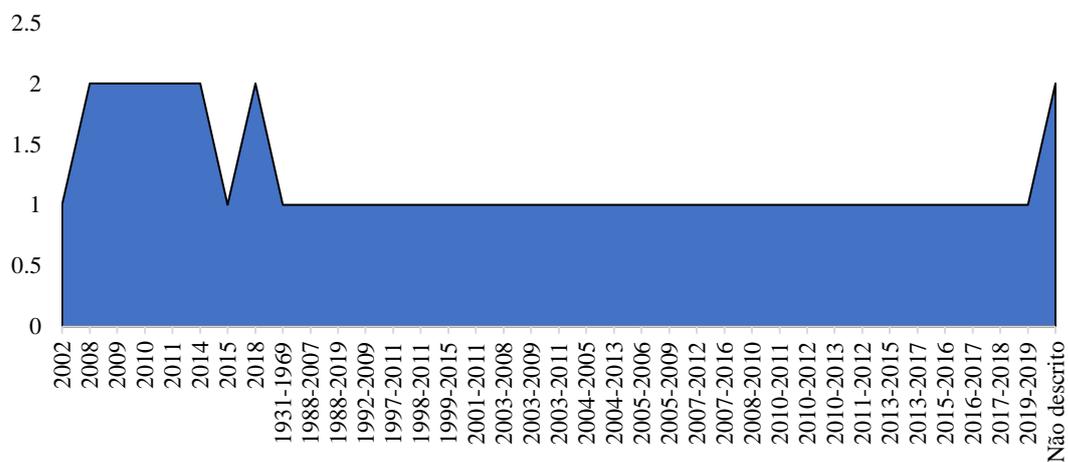
A análise das palavras-chaves presentes demonstrou a ocorrência dos doze termos mais utilizados dentro das publicações averiguadas, sendo eles: cancer (câncer), health (saúde),



Da mesma forma, com a aplicação do GIS, é realizada a análise espacial (“analysis”), que quantifica fenômenos localizados geograficamente e permite a sua associação a dados ambientais, socioeconômicos e demográficos (CRONER; SPERLING; BROOME, 1996). Além disso, identifica grupos e doenças e sua distribuição não aleatória, incidência ou prevalência (AUCHINCLOSS et al., 2010) apresentando os padrões encontrados com grande detalhamento, em nível local e global (CROMLEY, 2019), se aplicando, desta forma, também em pesquisas sobre doenças crônicas (MIRANDA et al., 2013), tais como o câncer (“cancer”).

### *Análise das informações dos artigos*

Em relação a janela temporal compreendida nos estudos, verificou-se que os artigos avaliados apresentaram monitoramento de curta duração até estudos longitudinais (Figura 5).



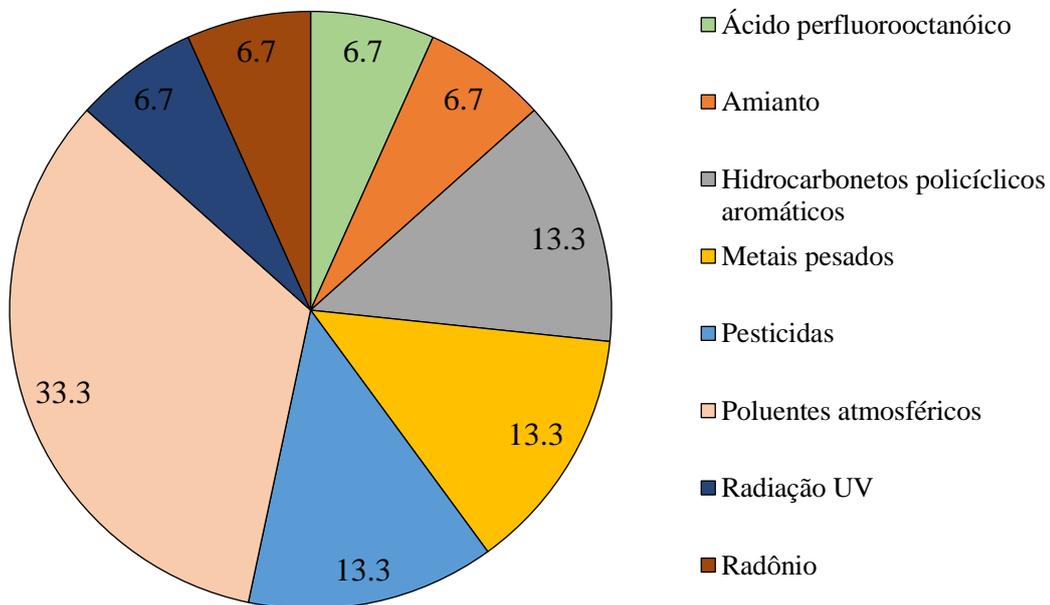
**Figura 5-** Distribuição temporal apresentada nos estudos.

Ao analisar os métodos utilizados nos trabalhos avaliados, verificou-se que 5% dos estudos realizaram análise espacial (n=2), 84% apresentaram análise espacial e estatística (n=37), 5% dos artigos apresentaram somente análise estatística (n=2) e os demais não descreveram o método estatístico empregado, pois se tratava de revisões de literatura (n=3).

No que concerne aos resultados encontrados sobre elementos de contaminação ou aspectos ambientais naturais e sua relação com o câncer, verificou-se que os poluentes atmosféricos foram os mais abordados nos trabalhos considerados (Figura 6). Apesar de 34,1%

dos artigos apresentarem essa relação, 65,9% não consideraram esses fatores nos estudos, focando especialmente no diagnóstico da patologia e espacialização dos casos de câncer.

Elementos presentes nos estudos (%)



**Figura 6-** Percentual dentre os estudos que apresentaram a ocorrência de elementos de contaminação e/ou aspectos ambientais naturais.

Conforme já referido, os poluentes atmosféricos representam os contaminantes mais estudados nos artigos avaliados. Dentre os trabalhos que mencionam os poluentes do ar, quando fornecida essa informação, ocorreram nos seguintes países: China, Estados Unidos, Tailândia e Irã. Nesse sentido, Dhital e Rupakheti (2019) realizaram um estudo bibliométrico analisando 2179 artigos dos anos de 1998-2017 sobre poluição do ar e a relação com a saúde humana. Os autores verificaram um aumento nas produções, principalmente no ano de 2008, especialmente nos países: Estados Unidos, China, Itália, Inglaterra e Canadá. Ainda nesse contexto, Sweileh e colaboradores (2018) desenvolveram uma análise bibliométrica sobre poluição do ar e saúde respiratória na janela temporal de 1943-2017 e investigaram 3.635 artigos. Os autores reportaram que o artigo com o maior número de citações descreveu a associação entre o câncer de pulmão, contaminação atmosférica e mortalidade cardiovascular. Os dados obtidos neste

estudo, juntamente com os resultados encontrados na literatura demonstram uma preocupação de pesquisas nessa área, principalmente pelo aumento dos processos industriais e suas consequências ambientais.

Por sua vez, os contaminantes emergentes, que são compostos de origem natural ou sintética e geralmente não são monitorados sistematicamente, estão presentes em diferentes matrizes ambientais e possuem potenciais riscos à saúde humana e ecológica (GEISSEN et al. 2015). Além dos contaminantes do ar, os contaminantes emergentes, que nesta revisão são representados pelos pesticidas, radônio, amianto e ácido perfluorooctanóico estudados nos artigos selecionados (Figura 6), também merecem destaque.

Os pesticidas, por exemplo, conforme a descrição de Rachel Carson de “Silent Spring” (Primavera Silenciosa), são reportados na literatura com efeitos negativos em níveis ecológicos e humanos, considerados uma ameaça à saúde pública pelos riscos associados ao desenvolvimento de doenças, tais como o câncer (SABARWAL et al. 2018). Essa relação do uso de pesticidas e o aparecimento de enfermidades foi verificada por Pedroso et al. 2021, ao realizarem um estudo bibliométrico que destacou a associação entre a exposição ocupacional a pesticidas e o câncer. Os 62 artigos analisados de 2011-2020 demonstraram um aumento de publicações nessa área de 2017-2019. Os autores reportaram 45 diferentes tipos de câncer e majoritariamente os estudos foram realizados nos Estados Unidos, França, Índia e Brasil. No presente estudo, o artigo analisado que relaciona o pesticida com o câncer foi realizado nos Estados Unidos. Essas informações corroboram com a literatura, já que os Estados Unidos é um dos países que mais utiliza e produz pesticidas no mundo (DONLEY, 2019).

Em relação ao radônio, este é formado através do decaimento dos elementos urânio, tório e potássio, se trata de um gás nobre, radioativo, que ocorre naturalmente e pode ser encontrado nas rochas, solo, águas superficiais, aquíferos e no ar (SEVERO; SOUSA, 2018). O gás Radônio é a mais importante fonte de radiação ionizante de origem natural do planeta (OMS, 2016). Quando o radônio é inalado, partículas ionizantes se depositam sobre tecidos e células, podendo interagir e provocar danos ao DNA celular. Estudos epidemiológicos sugerem uma forte relação entre a presença de radônio interior e o aumento da incidência de câncer de pulmão, e o risco de desenvolver a doença aumenta proporcionalmente em relação à concentração do gás (OMS, 2016).

Ainda dentro do contexto dos contaminantes emergentes, o amianto é um mineral fibroso de origem natural utilizado em diferentes materiais, como por exemplo, tecidos, telhas, resinas, entre outros (CHENG et al. 2020). Seus efeitos na saúde humana podem ocorrer via inalação oriunda da exposição laboral em diferentes atividades (MCCORMACK et al., 2012). Muitos países desenvolvidos já proibiram a utilização do amianto, mas este permanece sendo

usado por muitas nações pelo mundo, mesmo com doenças como o mesotelioma, o câncer de pulmão e a asbestose estarem associadas à exposição a este agente contaminante (KAMEDA et al., 2014).

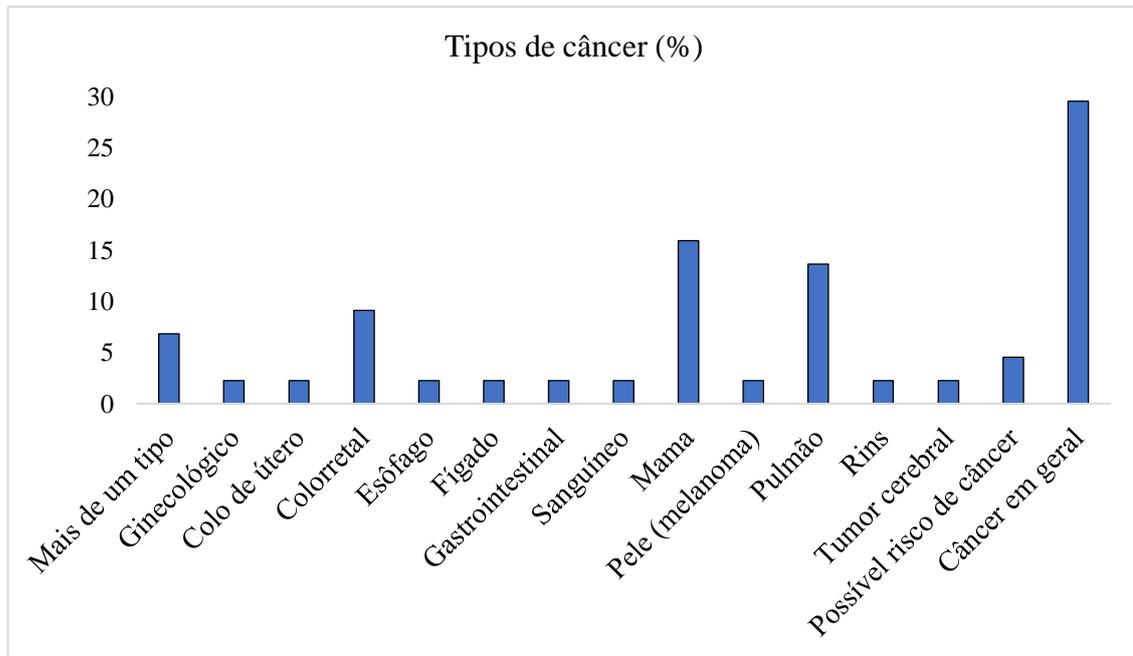
O ácido perfluorooctanóico também descrito como C8 são fluorocarbonetos empregados em diversos processos industriais, como por exemplo no Teflon (STEENLAND et al., 2010). Essa substância já foi detectada em compartimentos ambientais como água, solo e sedimentos, inclusive em regiões polares e na biota (LAU et al. 2007). O estudo realizado por Barry et al. 2013 demonstraram uma relação entre o C8 e a ocorrência de câncer renal e de testículos em moradores de Mid-Ohio Valley nos Estados Unidos. No presente levantamento, o estudo analisado que investiga a relação do C8 com câncer, também foi realizado nos Estados Unidos. Acredita-se que pesquisas são feitas com mais frequência nesse país, já que estudos prévios determinaram a ocorrência dessa substância de origem antrópica na população (BARRY et al.2013).

Além dos poluentes emergentes mencionados, cabe destacar que são necessários estudos contemplando outras substâncias que apresentam potencial carcinogênico como por exemplo, os subprodutos de desinfecção e agentes microbiológicos (SAHOO et al. 2021). Nesse sentido, os contaminantes emergentes constituem desafios para os seres humanos e ecossistemas, já que a sua exposição através do contato com solos, água e ar levanta suspeitas de mutagenicidade, teratogenicidade e carcinogenicidade para humanos e outros animais. A eliminação destes contaminantes no meio ambiente pode afetar diretamente a saúde humana e os resultados deletérios dependem da concentração, categoria e propriedade do contaminante estudado (LEI et al., 2015).

Os demais contaminantes avaliados no estudo como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e metais pesados apresentam uma vasta literatura sobre a sua relação com seres humanos e seus possíveis riscos carcinogênicos (MOREIRA; MOREIRA, 2004; QIAO; FENG, 2013; RENGARAJAN et al. 2015; KIANI et al. 2021).

Apesar de não ser considerado um contaminante, o aumento da exposição à radiação ultravioleta (UV) pode estar associada ao desenvolvimento de patologias nos seres humanos, como processos inflamatórios cutâneos, envelhecimento precoce, distúrbios na visão, lesões pré-malignas e câncer dermatológico, já que a radiação UV possui ação cumulativa na pele, provocando alterações químicas e morfológicas deletérias (BALOGH et al. 2011).

Em relação aos tipos de câncer, quando descritos no estudo, verificou-se que o câncer de mama foi o mais investigado, seguido do câncer de pulmão e câncer colorretal (Figura 7).

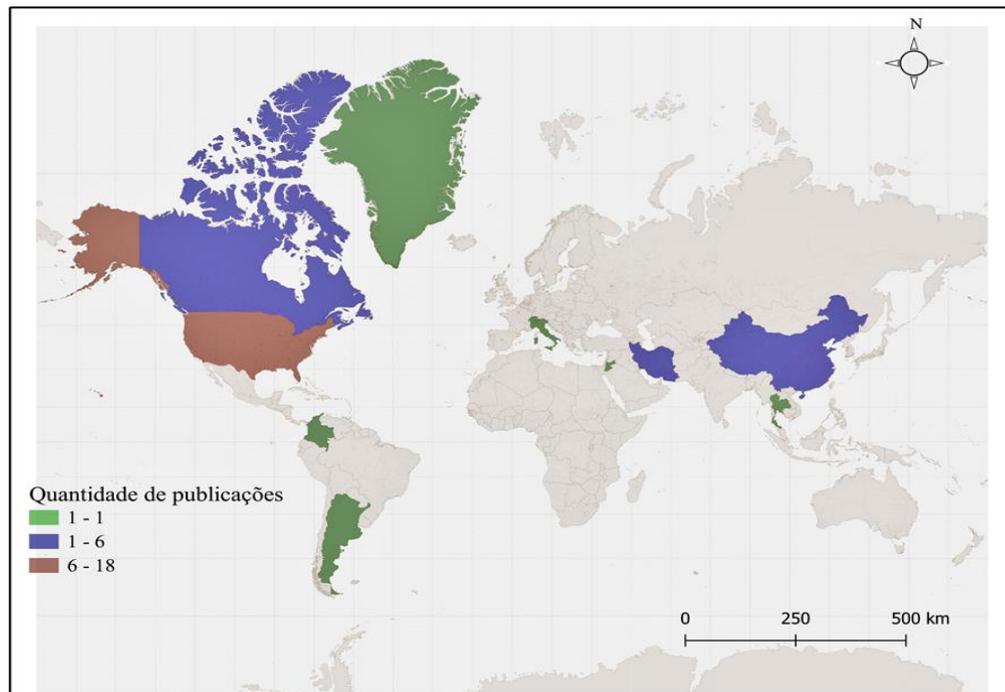


**Figura 7-** Percentual dos tipos de câncer avaliados nos artigos.

Na presente análise bibliométrica, os três principais tipos de câncer encontrados nos estudos selecionados foram: o Câncer de Mama, o Câncer de pulmão e o Câncer colorretal e isso pode estar relacionado com a prevalência destas neoplasias, especialmente em países mais ricos.

O câncer de mama é o tipo de câncer que mais atinge as mulheres em países desenvolvidos, no entanto tem ocorrido um aumento constante nas ocorrências em regiões do planeta com menor renda, atribuído especialmente às mudanças no estilo de vida e alterações nos padrões reprodutivos (PORTER, 2009). Por outro lado, o câncer de pulmão é a neoplasia maligna que mais provoca óbitos em todo o mundo quando considerados ambos os sexos. Em muitos países, é o tipo de câncer mais frequente e está associado ao consumo do tabaco, suscetibilidade genética, riscos ocupacionais, fatores ambientais e a dieta (MALHOTRA et al. 2016). De acordo com Favoriti et al. (2016), o câncer colorretal é o terceiro câncer mais prevalente no mundo e o quarto que mais provoca óbitos. É considerado uma doença que atinge especialmente as regiões mais desenvolvidas do globo (em torno de 55% ocorrem em países desenvolvidos como a Austrália, Nova Zelândia, Estados Unidos e países da Europa), mas suas taxas têm aumentado constantemente em países em desenvolvimento, associadas especialmente ao crescimento e envelhecimento da população, bem como à ocidentalização dos comportamentos e estilo de vida.

Quando analisada a distribuição geográfica das áreas onde os estudos ocorreram, foram encontrados onze países, conforme estão representados na Figura 8.



**Figura 8** – Distribuição geográfica das áreas onde os estudos foram realizados.

O presente levantamento bibliométrico encontrou a seguinte distribuição quantitativa: Argentina, Groenlândia, Colômbia, Itália, Jordânia, Suíça e Tailândia (1 estudo cada); China (5 estudos); Irã e Canadá (6 estudos cada) e E.U.A. (18 estudos). Uma das pesquisas foi realizada em duas áreas diferentes, compreendendo o Canadá e a Groenlândia. De acordo com a figura 8, fica constatada a distribuição desigual dentre as publicações avaliadas na temática abordada, enfatizando a assimetria entre países desenvolvidos e menos desenvolvidos.

Nessa perspectiva, fica evidenciada a preponderância de países desenvolvidos que aplicam a ferramenta do GIS em estudos sobre o câncer. Goli e colaboradores (2013) destacaram que a utilização do GIS nessa temática, apesar de estabelecida em países industrializados, ainda precisa ser mais explorada em países em desenvolvimento, visto que a sua utilização possibilitaria fornecer informações mais precisas e de fácil acesso. Através desta ferramenta, os formuladores das políticas públicas em saúde poderiam melhorar a distribuição dos recursos, bem como identificar possíveis lacunas, avaliando riscos em potencial e, em última análise, sendo capazes de prevenir a ocorrência de doenças nas populações (MUSA et al., 2013).

## Conclusões

Através da análise bibliométrica realizada no presente estudo, verificou-se que apesar da ampla utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (GIS) em pesquisas sobre câncer, os resultados reportados demonstram que ainda há necessidade de consolidação da temática dentro de um contexto de saúde única, especialmente se tratando de doenças crônicas. Desta forma, os dados obtidos através de um GIS possibilitariam uma melhor noção espacial das ocorrências, permitindo a sobreposição destes dados com um evento ambiental local, auxiliando, dentro de uma perspectiva epidemiológica, os sistemas de saúde pública de diferentes países, nas ações de prevenção e/ou tratamento de câncer.

Além disso, diante dos dados encontrados, pode-se inferir que as informações disponibilizadas para a realização de mais estudos de câncer e GIS na promoção da saúde única, estão concentrados em países que apresentam um maior desenvolvimento econômico. Apesar do câncer ser uma doença que ocorre em todos os países, independente da situação econômica dos seus habitantes, e nas mais variadas localidades geográficas, é importante destacar que sua ocorrência pode ser agravada através de elementos de contaminação, aspectos ambientais naturais e seus possíveis riscos associados.

Sugere-se que a abordagem da saúde única seja empregada amplamente diante do contexto emergente do aumento de doenças crônicas em todo o mundo, inclusive do câncer. Desta forma, é importante considerar a multidisciplinaridade em todos os seus níveis, visando a garantia de uma saúde integrada de qualidade para os seres vivos, bem como a sua incorporação dentro dos objetivos do desenvolvimento sustentável.

## Referências

AUCHINCLOSS, A. H. et al. A review of spatial methods in epidemiology, 2000–2010. **Annual review of public health**, v. 33, p. 107-122, 2012.

BALOGH, T. S.; VELASCO, M. V. R.; PEDRIALI, C. A.; KANEKO, T. M.; BABY, A. R. Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção. **An Bras Dermatol**, v. 86, n. 4, p. 732-742, 2011.

BARRY, V.; WINQUIST, A.; STEENLAND, K. Perfluorooctanoic acid (PFOA) exposures and incident cancers among adults living near a chemical plant. **Environmental health perspectives**, v. 121, n. 11-12, p. 1313-1318, 2013.

- BARNETT, T. et al. Practising co-production and interdisciplinarity: Challenges and implications for one health research. **Preventive veterinary medicine**, v. 177, p. 104949, 2020.
- BHATIA, R.; WERNHAM, A. Integrating human health into environmental impact assessment: an unrealized opportunity for environmental health and justice. **Environmental Health Perspectives**, v. 116, n. 8, p. 991-1000, 2008.
- BONFIM, C.; MEDEIROS, Z. Epidemiologia e geografia: dos primórdios ao geoprocessamento. **Espac Saude**, v. 10, n. 1, p. 53-62, 2008.
- CARVALHO, MS; SOUZA-SANTOS, R. Análise de dados espaciais em saúde pública: métodos, problemas, perspectivas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 21, p. 361-378, 2005.
- CHENG, Y. Y. et al. The current understanding of asbestos-induced epigenetic changes associated with lung cancer. **Lung Cancer: Targets and Therapy**, v. 11, p. 1, 2020.
- CLARKE, K.C.; MCLAFFERTY, S.L.; TEMPALSKI, B.J. On epidemiology and geographic information systems: a review and discussion of future directions. **Emerging infectious diseases**, v. 2, n. 2, p. 85, 1996.
- CRONER, CM.; SPERLING, J.; BROOME, F.R. Geographic information systems (GIS): new perspectives in understanding human health and environmental relationships. **Statistics in medicine**, v. 15, n. 18, p. 1961-1977, 1996.
- CROMLEY, E.K. Using GIS to address epidemiologic research questions. **Current Epidemiology Reports**, v. 6, n. 2, p. 162-173, 2019.
- CUNNINGHAM, A. A.; DASZAK, P.; WOOD, J. L.N. One Health, emerging infectious diseases and wildlife: two decades of progress? **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 372, n. 1725, p. 20160167, 2017.
- DESTOUMIEUX-GARZÓN, D. et al. The one health concept: 10 years old and a long road ahead. **Frontiers in veterinary science**, v. 5, p. 14, 2018.
- DHITAL, S.; RUPAKHETI, D. Bibliometric analysis of global research on air pollution and human health: 1998–2017. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 13, p. 13103-13114, 2019.
- DONLEY, N. The USA lags behind other agricultural nations in banning harmful pesticides. **Environmental Health**, v. 18, n. 1, p. 1-12, 2019.

- DUMMER, T. J.B. Health geography: supporting public health policy and planning. **Cmaj**, v. 178, n. 9, p. 1177-1180, 2008.
- FAVORITI, P. et al. Worldwide burden of colorectal cancer: a review. **Updates in surgery**, v. 68, n. 1, p. 7-11, 2016.
- GEISSEN, V. et al. Emerging pollutants in the environment: a challenge for water resource management. **International soil and water conservation research**, v. 3, n. 1, p. 57-65, 2015.
- GOLI, A. et al. The spatial distribution of cancer incidence in Fars province: a GIS-based analysis of cancer registry data. **International journal of preventive medicine**, v. 4, n. 10, p. 1122, 2013.
- GUERRA, M.R. et al. Risco de câncer no Brasil: tendências e estudos epidemiológicos mais recentes. **Revista brasileira de cancerologia**, v. 51, n. 3, p. 227-234, 2005.
- HRISTOVSKI, M. et al. Concept of one Health-a new professional imperative. **Macedonian Journal of Medical Sciences**, v. 3, n. 3, p. 229-232, 2010.
- KAMEDA, T. et al. Asbestos: use, bans and disease burden in Europe. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 92, p. 790-797, 2014.
- KIANI, B. et al. Association between heavy metals and colon cancer: an ecological study based on geographical information systems in North-Eastern Iran. **BMC cancer**, v. 21, n. 1, p. 1-12, 2021.
- KIRBY, R.S.; DELMELLE, E.; EBERTH, J.M. Advances in spatial epidemiology and geographic information systems. **Annals of epidemiology**, v. 27, n. 1, p. 1-9, 2017.
- LAU, C. et al. Perfluoroalkyl acids: a review of monitoring and toxicological findings. **Toxicological sciences**, v. 99, n. 2, p. 366-394, 2007.
- LEI, M. et al. Overview of emerging contaminants and associated human health effects. **BioMed research international**, v. 2015, 2015.
- LI, W.; ZHAO, Y. Bibliometric analysis of global environmental assessment research in a 20-year period. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 50, p. 158-166, 2015.
- MAGWAZA, S.; VAN HAL, G.; HOQUE, M. Mapping the colorectal cancer screening scientific landscape in South Africa: A bibliometric analysis to identify inequalities. **Gastro Open A Open J**, v. 2, n. 1, p. 27-34, 2021.

- MALHOTRA, J. et al. Risk factors for lung cancer worldwide. **European Respiratory Journal**, v. 48, n. 3, p. 889-902, 2016.
- MCCORMACK, V. et al. Estimating the asbestos-related lung cancer burden from mesothelioma mortality. **British Journal of Cancer**, v. 106, n. 3, p. 575-584, 2012.
- MIRANDA, M.L. et al. Peer reviewed: putting chronic disease on the map: building GIS capacity in state and local health departments. **Preventing chronic disease**, v. 10, 2013.
- MOREIRA, F.R.; MOREIRA, J.C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 15, p. 119-129, 2004.
- MUSA, G.J. et al. Use of GIS mapping as a public health tool—from cholera to cancer. **Health services insights**, v. 6, p. HSI. S10471, 2013.
- OMS -Manual da OMS sobre radônio em ambientes internos: uma perspectiva de saúde pública / editado por Hajo Zeeb e Ferid Shannoun. São Paulo, SP: 1ª Edição, 2016.120p.
- PORTER, P.L. Global trends in breast cancer incidence and mortality. **Salud Publica de Mexico**, v. 51, p. s141-s146, 2009.
- QIAO, L.; FENG, Y. Intakes of heme iron and zinc and colorectal cancer incidence: a meta-analysis of prospective studies. **Cancer Causes & Control**, v. 24, n. 6, p. 1175-1183, 2013.
- RENGARAJAN, T. et al. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons with special focus on cancer. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 5, n. 3, p. 182-189, 2015.
- RYTKÖNEN, M.J.P. Not all maps are equal: GIS and spatial analysis in epidemiology. **International journal of circumpolar health**, v. 63, n. 1, p. 9-24, 2004.
- SABARWAL, A.; KUMAR, K.; SINGH, R. P. Hazardous effects of chemical pesticides on human health—Cancer and other associated disorders. **Environmental toxicology and pharmacology**, v. 63, p. 103-114, 2018.
- SABEL, C.E. et al. Modelling individual space–time exposure opportunities: A novel approach to unravelling the genetic or environment disease causation debate. **Spatial and spatio-temporal epidemiology**, v. 1, n. 1, p. 85-94, 2009.
- SAHOO, T. et al. Carcinogenic Nature of Emerging Contaminants: Havoc for Present and Gateway of Unhealthy Future. In: **Contaminants in Drinking and Wastewater Sources**. Springer, Singapore, 2021. p. 159-175.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. Edusp, 2002.

SHAW, N.; MCGUIRE, S. Understanding the use of geographical information systems (GIS) in health informatics research: A review. **Journal of Innovation in Health Informatics**, v. 24, n. 2, p. 228-233, 2017.

SEVERO, E.; SOUSA, H. O Risco do Radônio em Ambientes Internos. **CIAIQ2018**, v. 3, 2018.

STEENLAND, K.; FLETCHER, T.; SAVITZ, D. A. Epidemiologic evidence on the health effects of perfluorooctanoic acid (PFOA). **Environmental health perspectives**, v. 118, n. 8, p. 1100-1108, 2010.

SWEILEH, W. M. et al. Outdoor air pollution and respiratory health: a bibliometric analysis of publications in peer-reviewed journals (1900–2017). **Multidisciplinary respiratory medicine**, v. 13, n. 1, p. 1-12, 2018.

WANG, X. et al. Tracking knowledge evolution, hotspots and future directions of emerging technologies in cancers research: a bibliometrics review. **Journal of Cancer**, v. 10, n. 12, p. 2643, 2019.

WATERS, W.F. Globalization, socioeconomic restructuring, and community health. **Journal of Community Health**, v. 26, n. 2, p. 79-92, 2001.

## 7 CAPÍTULO 2

### **ANÁLISE GEOESPACIAL DA OCORRÊNCIA DE CÂNCER ASSOCIADO À RADIOATIVIDADE NATURAL NO RIO GRANDE DO NORTE**

## ANÁLISE GEOESPACIAL DA OCORRÊNCIA DE CÂNCER ASSOCIADO À RADIOATIVIDADE NATURAL NO RIO GRANDE DO NORTE

Simone Martinelli<sup>1</sup>✉, Julio Alejandro Navoni<sup>1,2</sup>✉

<sup>1</sup> Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA-UFRN) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte;

<sup>2</sup> Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Diretoria Acadêmica de Recursos Naturais (DIAREN), 59015-000, Natal, Brasil

✉ [simonemartinelli2014@gmail.com](mailto:simonemartinelli2014@gmail.com); [navoni.julio@gmail.com](mailto:navoni.julio@gmail.com)

### Resumo

O estado do Rio Grande do Norte, localizado na região Nordeste do Brasil, possui áreas de formação de granitos e pegmatitos com minerais que apresentam concentrações significativas de Urânio, Tório e Potássio, cujos isótopos radioativos e seus produtos de decaimento podem servir de fontes de contaminação através da inalação, absorção pela pele ou ingestão. Estudos anteriores determinaram altas concentrações do gás Radônio, que está presente na cadeia de decaimento do Urânio, nos corpos d'água e residências de municípios da região sul do estado. Estudos de incidência de câncer também encontraram municípios com índices superiores aos da média nacional nestas regiões. O presente estudo epidemiológico tem por objetivo analisar a ocorrência de casos de câncer e sua vinculação com exposição a fontes naturais de radioatividade através do banco de dados do DATASUS e um sistema de informação geográfica (SIG). Os resultados mostraram a formação de agregados nos municípios localizados nas regiões do Seridó e da Província Pegmatítica da Borborema, assim como em áreas de embasamento cristalino, onde foi vista uma taxa maior de óbitos causados pelos tipos de câncer pesquisados quando comparados a municípios no mesmo estado.

**Palavras-chave:** *Radônio Interior, Borborema, Câncer, Epidemiologia, Sistema de Informação Geográfica, Rochas ígneas, Rochas metamórficas*

### Abstract

The state of Rio Grande do Norte, located in the Northeast region of Brazil, has areas of formation of granites and pegmatites with minerals that present significant concentrations of Uranium, Thorium and Potassium, whose radioactive isotopes and their decay products can serve as sources of contamination. through inhalation, skin absorption or ingestion. Previous studies have determined high concentrations of Radon gas, which is present in the Uranium decay chain, in water bodies and homes in municipalities in the southern region of the state. Cancer incidence studies also found municipalities with rates above the national average in these regions. The present epidemiological study aims to analyze the occurrence of cancer cases and their link with exposure to natural sources of radioactivity through the DATASUS database and a geographic information system (GIS). The results showed the formation of clusters in the municipalities located in the regions of Seridó and the Pegmatitic Province of Borborema, as well as in areas of crystalline basement, where a higher rate of deaths caused by the types of cancer researched was seen when compared to municipalities in the same state.

**Keywords:** *Interior Radon, Borborema, Cancer, Epidemiology, Geographic Information System, Igneous rocks, Metamorphic rocks*

## Introdução

O Brasil é um país de dimensões continentais e a diversidade do seu território reflete essa característica. Dentro da região Nordeste do país, o estado do Rio Grande do Norte se destaca quando se trata de geodiversidade, que é o conjunto das estruturas abióticas e envolve aspectos geológicos, de solo, relevos, rochas, minerais e subsolo (PFALTZGRAFF; TORRES, 2010; FREITAS et al. 2018). O estado se localiza geotectonicamente na Província da Borborema e seu solo possui uma geoquímica complexa (DO NASCIMENTO et al. 2015), tendo seu substrato composto de rochas do embasamento cristalino (em torno de 65%) e por rochas sedimentares que recobrem o restante (PFALTZGRAFF; TORRES, 2010).

Ao longo de sua fachada oriental, destaca-se um conjunto de terras altas conhecido como Planalto da Borborema, uma região de clima quente, semiárido, com precipitação pluviométrica escassa e mal distribuída (CORREA et al., 2010). Na sua porção oeste, se encontra a Província Pegmatítica da Borborema, onde corpos pegmatíticos se reúnem em uma área de aproximadamente 6000 km<sup>2</sup>, sendo uma das mais importantes províncias minerais do nordeste do Brasil (DE REZENDE; PETTA; CAMPOS, 2014; PASTURA; CAMPOS, 2016). A Província Pegmatítica da Borborema está localizada na parte central dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte (CAMPOS et al., 2009), distribuindo-se em uma faixa alongada de direção NE-SW (COSTA-DE MOURA; SILVA; PREREIRA, 2005) e seus campos pegmatíticos têm sua própria fonte de material e distribuição geográfica (SILVA, 2010).

Estas rochas pegmatíticas apresentam minerais com diferentes concentrações de Tório, Potássio e Urânio, cujos isótopos radioativos contribuem para o aumento da radiação de fundo na região (CAMPOS et al., 2009; PASTURA; CAMPOS, 2016). Por outro lado, os terrenos constituídos de rochas ígneas e metamórficas (embasamento cristalino) também demonstraram a presença de elementos radioativos através de mapas geofísicos ternários destes elementos, em toda a metade sul do estado (CPRM, 2020). Elementos responsáveis pela radiação de fundo como o Urânio, o Tório e o Potássio, e mais especificamente o Radônio, que está presente na cadeia de decaimento do Urânio, já foram encontrados em rochas na região formada pelo embasamento cristalino no Rio Grande do Norte, assim como em pegmatitos que constituem a Província Pegmatítica da Borborema (GARCIA et al., 2011; CHAVES et al., 2016; MARCON et al., 2017; CPRM, 2020).

O Urânio é um elemento que ocorre naturalmente em solos e rochas (OMS, 2016) podendo ser oxidado em solução aquosa, removido através da lixiviação e depositado em sedimentos longe da sua rocha de origem (PASTURA; CAMPOS, 2016). Por se tratar de um

metal radioativo, o Urânio pode ainda se desintegrar gerando uma cadeia de decaimento e ter como Descendentes o Rádio, o Radônio e o Chumbo (CHAVES et al., 2016; SEVERO; SOUZA, 2018). Estes contaminantes possuem a capacidade de bioacumulação, persistindo em tecidos vivos (CHAVES et al., 2016) podendo provocar aberrações cromossômicas e danos no DNA celular (HAMZA; MOHANKUMAR, 2009).

O Radônio é o responsável por mais de 50% da radiação ionizante natural (PASTURA; CAMPOS, 2016) e esta radiação pode servir de fonte de contaminação através da inalação, da absorção pela pele ou da ingestão. Ele é um gás nobre que tem uma meia-vida de 3,8 dias (OMS, 2016), incolor, inodoro, insípido e inerte, podendo se difundir através das fissuras nas rochas e do solo poroso até a superfície (CORRÊA et al., 2016; SEVERO; SOUZA, 2018), movendo-se assim para o ar, águas superficiais e subterrâneas.

Quando o Radônio é inalado, partículas Alfa ionizantes podem interagir com o tecido biológico gerando danos no DNA celular. As agências de controle ambiental apontam o gás Radônio como um importante agente carcinogênico humano e assim como o tabagismo foi associado à ocorrência de câncer de pulmão, estudos de coorte documentaram o risco desse tipo de câncer junto à radiação durante as mesmas décadas - 1950 e 1960 (SAMET, 2011). Os dados disponíveis na literatura demonstram que o Radônio interior é inclusive o mais importante fator de risco ambiental para o desenvolvimento deste câncer (KENDALL; SMITH, 2002) e a chance de desenvolver a patologia é diretamente proporcional aos níveis e ao tempo de exposição, existindo risco mesmo quando estes níveis se encontram dentro dos recomendados pela OMS de 100Bq/m<sup>3</sup> (DARBY et al, 2004; OMS, 2016). Análises prévias indicam que o desenvolvimento do câncer de pulmão aumenta proporcionalmente à exposição ao gás (OMS, 2016), sendo deste modo considerado como a sua segunda principal causa, ficando atrás apenas do tabagismo. Nos EUA estima-se que mais de 20.000 pessoas morram por ano de câncer de pulmão devido à inalação do Radônio (KENDALL; SMITH, 2002; SEVERO; SOUZA, 2018). Por outro lado, outros tipos de câncer também podem estar associados à contaminação pelo gás e seus produtos de decaimento (OMS, 2016). Pesquisas que relacionam o radônio ao câncer de mama, câncer de medula óssea, câncer de estômago e câncer de pele têm sido desenvolvidas em diversas regiões do planeta ao longo dos anos (KJELLBERG; WISEMAN, 1995; EVRARD et al., 2006; VIENNEAU et al, 2017; PENG et al., 2020).

Estudos prévios realizados em municípios no estado do Rio Grande do Norte apresentaram resultados apontando a contaminação por radioatividade em corpos d'água e residências (GARCIA et al., 2011; CHAVES et al., 2016; DA COSTA DANTAS et al., 2017), potencial mutagênico celular (CHAVES et al., 2016; GARCIA et al., 2011) e incidência de

câncer acima da média nacional (DA COSTA CAMPOS et al., 2013<sup>a</sup>; DA COSTA DANTAS et al., 2013).

Para entender se existe a formação de agregados nestes municípios pesquisados, são necessários estudos epidemiológicos que levem em consideração as informações sobre os dados de saúde e mortalidade, bem como os referências geográficos. Neste sentido, o GIS (Sistema de Informação Geográfica) pode funcionar como uma ferramenta para compreender o espaço geográfico, onde se cruzam informações, realizando o mapeamento de doenças, estudos ecológicos, estudos de agregados (*clusters*) e vigilância ambiental (BONFIM; MEDEIROS, 2008). Neste contexto, existe a necessidade de utilizar métodos e ferramentas que facilitem a criação e visualização do conhecimento a partir de dados de saúde e geoespaciais (BHOWMICK, 2008).

De acordo com levantamentos realizados em municípios do estado do Rio Grande do Norte (CORREA et al., 2010; DA COSTA CAMPOS et al., 2013a; DA COSTA DANTAS et al., 2013; CHAVES et al., 2016) é possível determinar diversas áreas de contaminação por radioatividade nos corpos d'água e em residências, no entanto, é preciso que se realizem estudos epidemiológicos para verificar se existem casos de doenças associadas aos achados geológicos. Estudos epidemiológicos são fundamentais para visualizar o processo saúde-doença dentro das populações através de sua distribuição temporal, espacial e de atributos pessoais, buscando assim, identificar a existência de padrões de ocorrência e grupos de risco (BARCELLOS; BASTOS, 1996; BONFIM; MEDEIROS, 2008). Desta maneira, quando a variável localização é introduzida em estudos de saúde, fica possível visualizar as diferenças entre as regiões e a relação da população com o espaço em que ela está inserida (BARCELLOS; BASTOS, 1996).

Diante do exposto, este estudo tem por objetivo identificar as taxas de mortalidade por câncer associadas à contaminação ambiental e radiação de fundo nos municípios do Rio Grande do Norte e se elas seguem um padrão geográfico específico dentro dos municípios da Província Pegmatítica da Borborema e do Seridó, bem como nas áreas de solos compostos por rochas ígneas e metamórficas do embasamento cristalino. Utilizando a análise espacial dos dados epidemiológicos para observar a formação de agregados nas regiões, o estudo pretende contribuir para entender a relevância dessa característica ambiental como problemática de saúde pública.

## Metodologia

### *Área de estudo*

O Estado do Rio Grande do Norte, localizado na região Nordeste do Brasil, possui 3.168.027 habitantes de acordo com o último censo realizado em 2010. A densidade demográfica é estimada em 59,99 hab/km<sup>2</sup> e o Índice de Desenvolvimento Humano é de 0,684 (IBGE). Todos os 167 municípios do Rio Grande do Norte tiveram seus dados de mortalidade por diferentes tipos de câncer coletados através do sistema de acesso à informação do Portal do Ministério da Saúde e especializados para a geração de mapas temáticos.

### *Fontes de Informação*

O TABNET, dentro do Portal DATASUS agrega os dados de mortalidade de 1996 a 2017 pelo CID-10 (Classificação Internacional de Doenças), onde cada patologia tem um código específico e é o grande banco de dados de saúde / mortalidade brasileiro. Cada tipo de câncer foi identificado através do CID respectivo e posteriormente, feita a busca das ocorrências por município de residência dos casos com a abrangência geográfica de todo o estado do Rio Grande do Norte. O período compreendido da busca foi de dez anos (2007-2017), para reduzir os riscos de variáveis de confusão que poderiam ocorrer pela diferença de população dos municípios.

O estudo dividiu as buscas em Câncer Total, que incluiu todos os casos de óbitos por neoplasias malignas nos municípios, utilizando para isso as categorias de CID de C00 a D09; Câncer de Vias Aéreas com as categorias de CID C30 a C39; Câncer de Mama com a categoria de CID C50; Câncer de Medula (linfoma, mieloma, leucemias) com as categorias de CID C83 a C95; Câncer de Estômago com a categoria de CID C16; Câncer de Pele (melanoma e carcinoma) com as categorias de CID C43, C44 e D04.

### *Análise dos dados e espacialização*

Os dados foram ponderados, apresentando os resultados divididos pela população de cada município e ocorrência padronizada por 100.000 habitantes no programa **IBMSPPSS®**.

Foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica **TerraView**, para a utilização dos dados de mortalidade e tipos de rochas e, através dos arquivos *shapes* criar um banco de dados georrelacional e os mapas temáticos de agregação. Os dados cartográficos (arquivos *shape*)

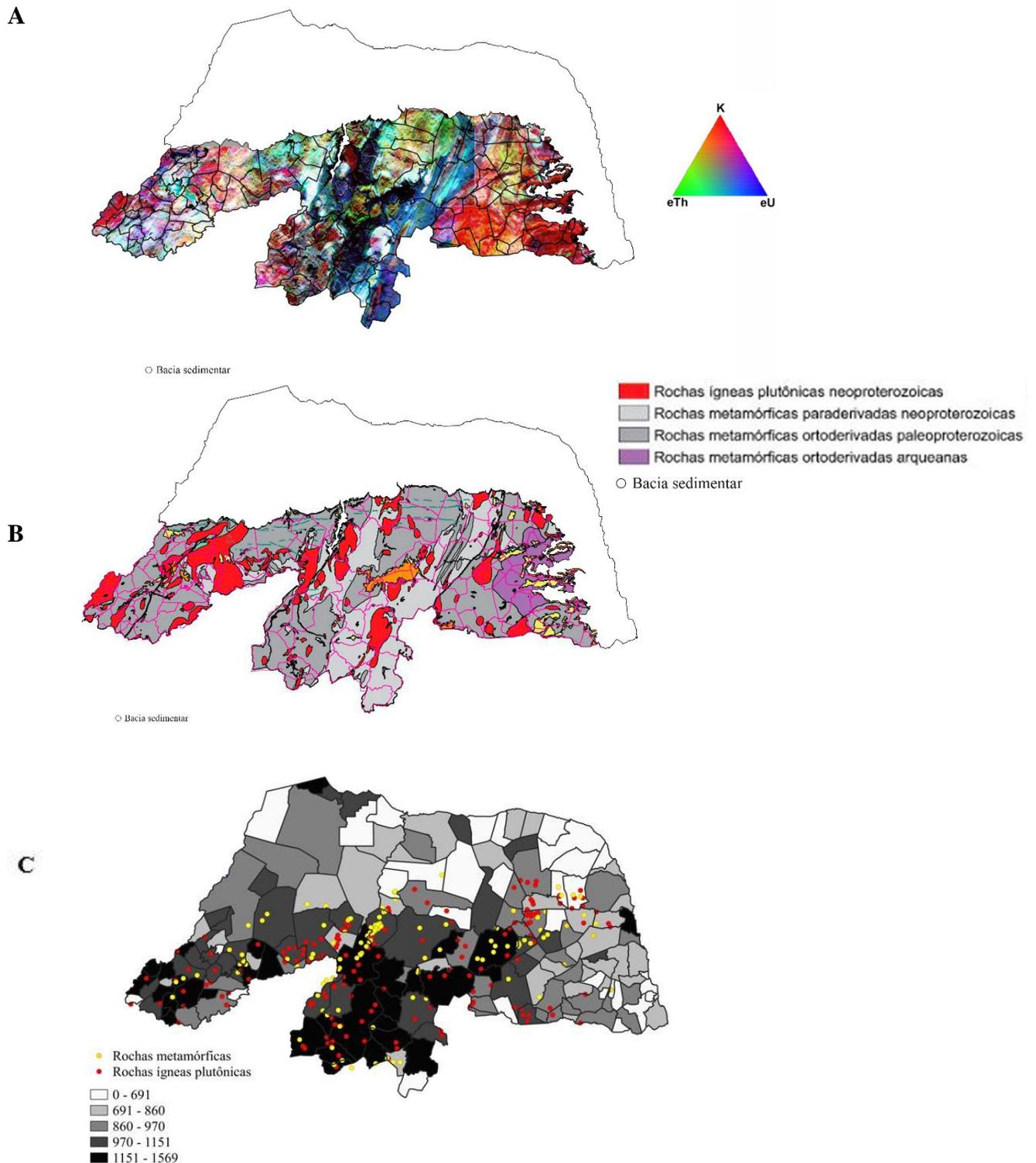
foram obtidos através de busca no portal do IBGE (<https://www.ibge.gov.br>) e CPRM (<http://cprm.gov.br>). Os arquivos shapes da formação das rochas do Estado do Rio Grande do Norte foram cedidos por De Oliveira e Do Nascimento (2019).

A análise estatística de Moran Global e Moran Local, assim como as análises bivariadas, foram realizadas através do programa **GeoDa**, com o objetivo de identificar a existência de dependência espacial, assim como fazer o cruzamento dos dados sobre óbitos com os tipos de rochas presentes nos municípios. A análise de proximidade ou Moran Local trabalha com valores de -1 a +1. Todos os valores de 0 a +1 representam uma correlação espacial positiva.

## **Resultados e Discussões**

Os resultados deste estudo reuniram bancos de dados de saúde, geológicos e ambientais com bases espaciais para monitorar a exposição a agentes de risco e as condições de saúde de populações em um período determinado.

Os mapas temáticos a seguir mostram os resultados obtidos com a coleta e espacialização dos dados e suas análises estatísticas.



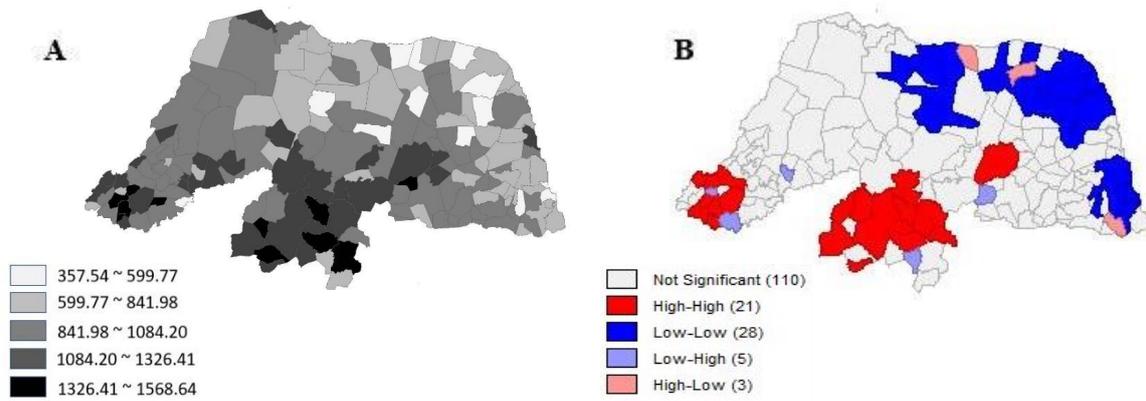
**Figura 1:** Mapas do Rio Grande do Norte

A – Mapa geofísico (radiométrico ternário) dos elementos Tório, Potássio e Urânio na região do embasamento cristalino.

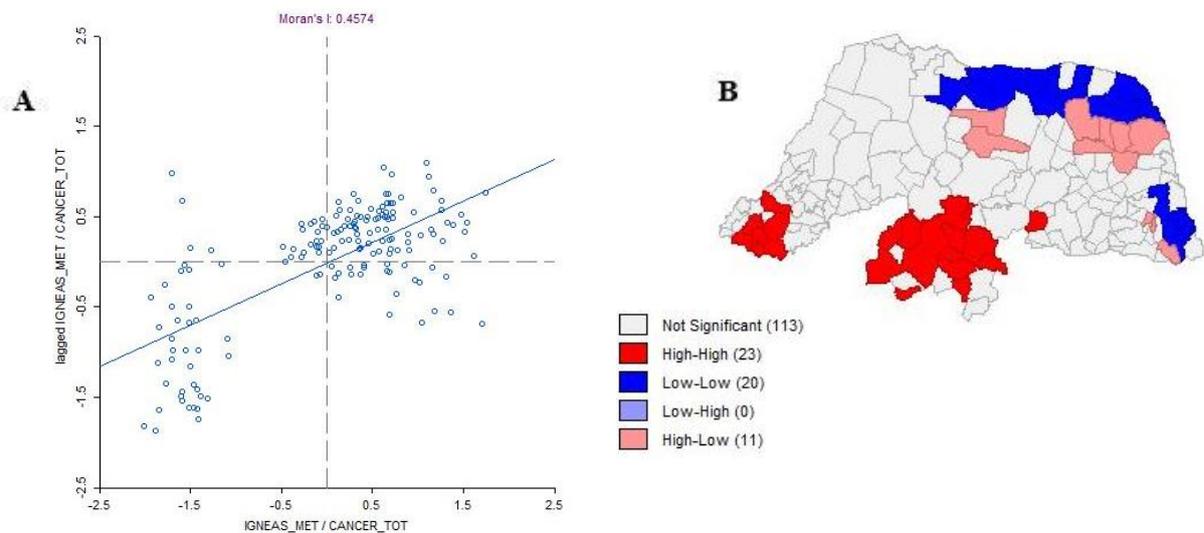
B – Mapa geológico da formação rochosa do embasamento cristalino (rochas ígneas e metamórficas).

C – Mapa temático de óbitos por câncer nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes com sobreposição do tipo das rochas dos municípios.

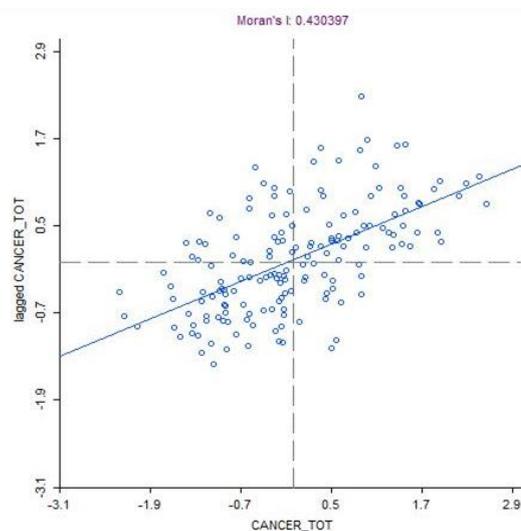
**Fontes:** A (CPRM 2020 modificado por Alana Regis Dantas-UFRN/USP); B (Adaptada de DE OLIVEIRA; DO NASCIMENTO, 2019); C (Shape utilizado de DE OLIVEIRA; DO NASCIMENTO, 2019).



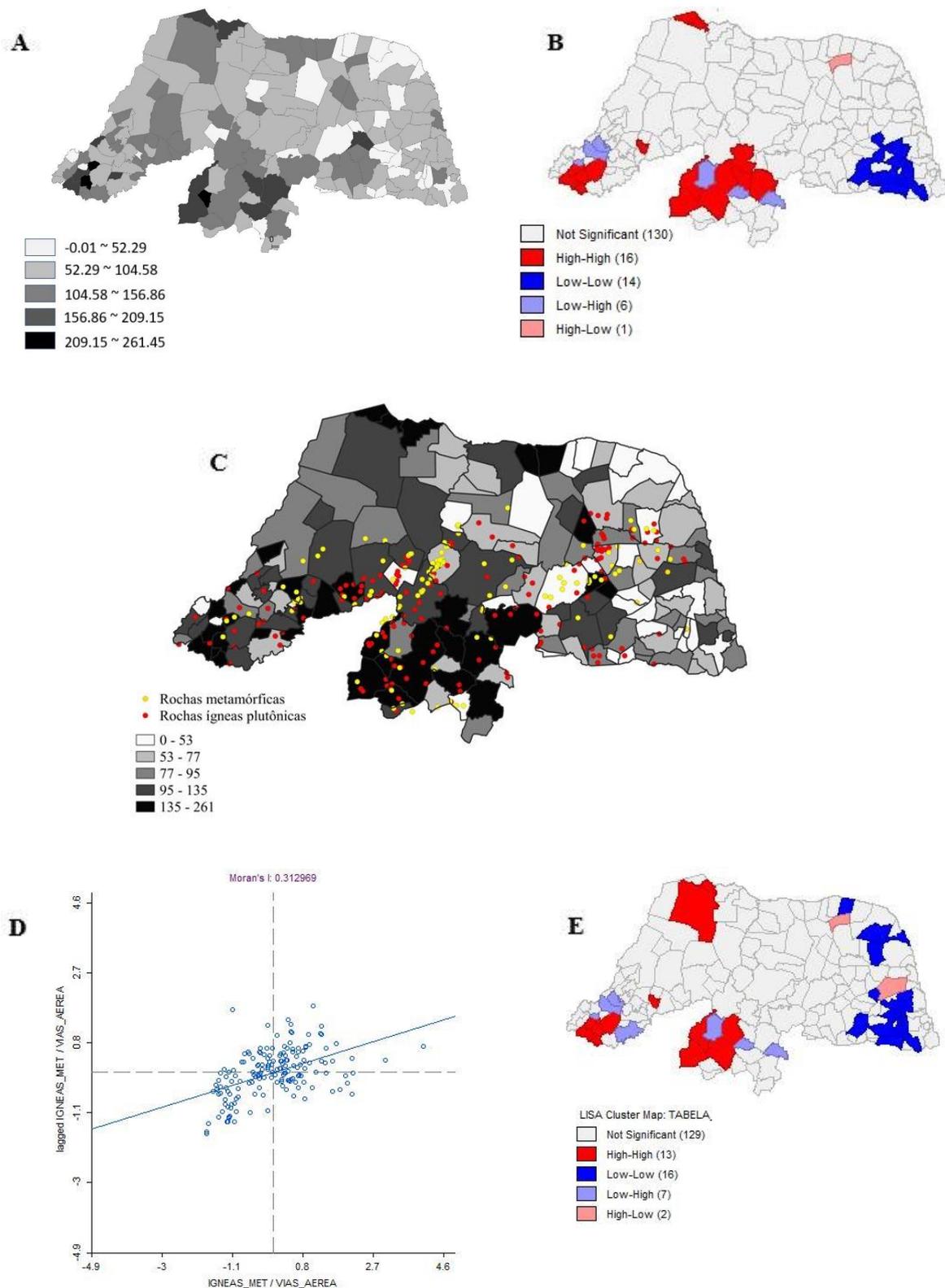
**Figura 2:** Mapas do estado do Rio Grande do Norte de óbitos por câncer total  
 A – Óbitos nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes.  
 B – Análise LISA univariada (Moran Local) de dependência geográfica dos casos de óbitos.



**Figura 3:** Análises estatísticas de dependência espacial nos municípios do Estado do Rio Grande do Norte por câncer total e a presença de rochas ígneas e metamórficas  
 A – Análise de Moran / Bayes: 0,46.  
 B – Cluster Map (Moran Local).



**Figura 4:** Análise estatística de dependência espacial de óbitos por câncer total através da análise univariada (Moran Global) com resultado de 0,43.



**Figura 5:** Mapas do estado do Rio Grande do Norte de óbitos por câncer nas vias aéreas

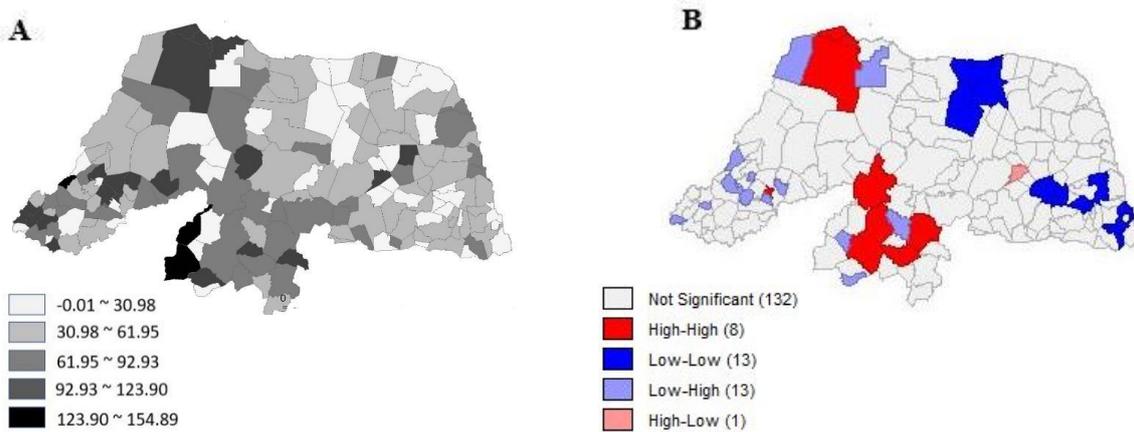
A – Óbitos nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes.

B – Análise LISA univariada (Moran Local) de dependência geográfica dos casos de óbitos.

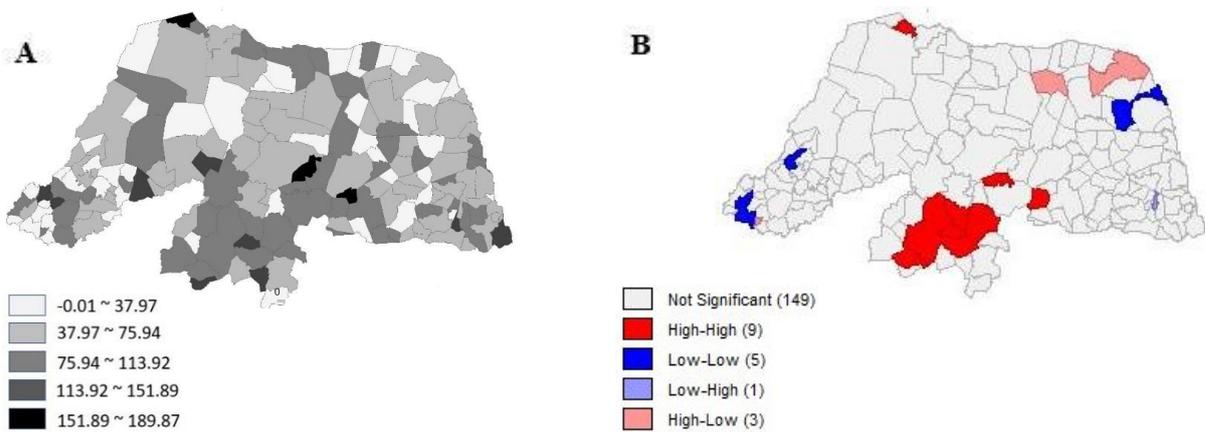
C – Mapa temático de óbitos por câncer nas vias aéreas nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes com sobreposição do tipo das rochas dos municípios.

D – Análise estatística de dependência espacial nos municípios do Estado do Rio Grande do Norte por câncer nas vias aéreas e a presença de rochas ígneas e metamórficas de Moran / Bayes: 0,32.

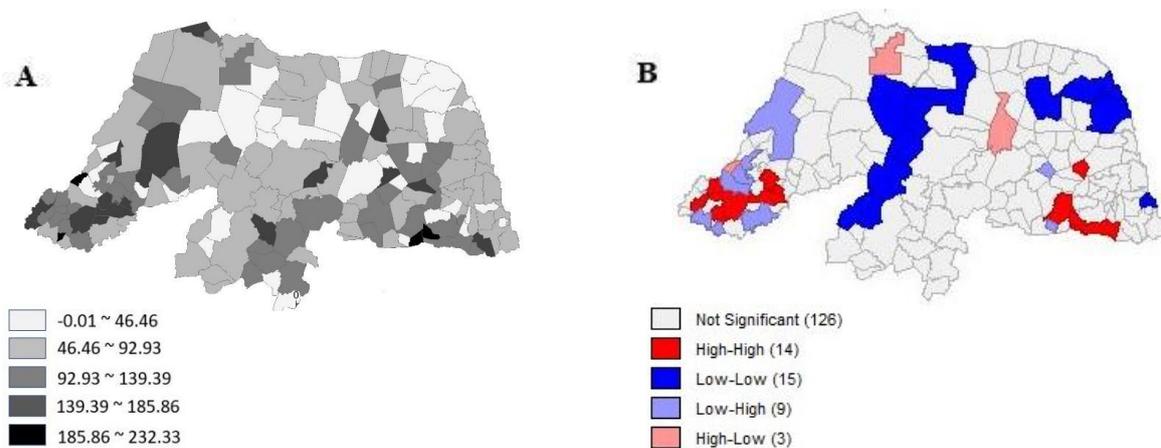
E – Análise estatística de dependência espacial (cluster map) de óbitos por câncer de **vias aéreas** e presença de rochas ígneas e metamórficas nos municípios do estado do RN através da análise de Moran Local.



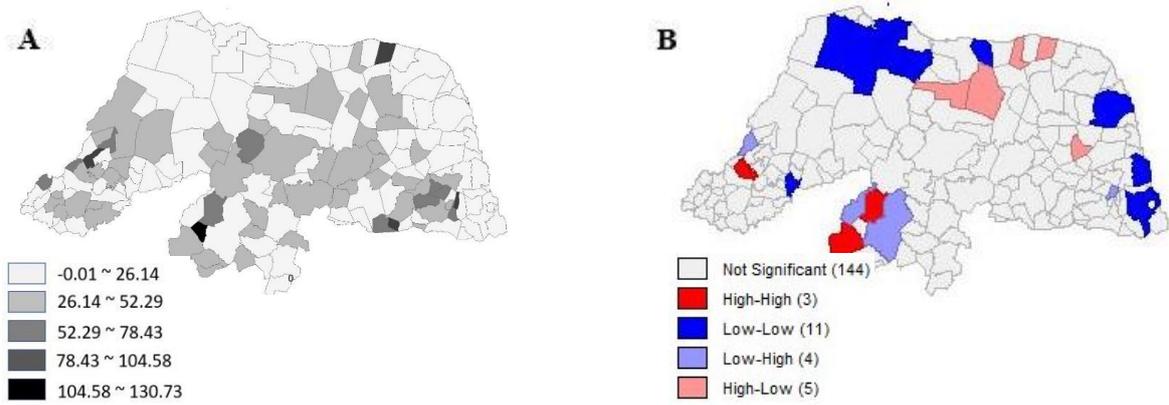
**Figura 6:** Mapas do estado do Rio Grande do Norte de óbitos por câncer de mama  
 A – Óbitos nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes.  
 B – Análise LISA univariada (Moran Local) de dependência geográfica dos casos de óbitos.



**Figura 7:** Mapas do estado do Rio Grande do Norte de óbitos por câncer de medula óssea  
 A – Óbitos nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes.  
 B – Análise LISA univariada (Moran Local) de dependência geográfica dos casos de óbitos.



**Figura 8:** Mapas do estado do Rio Grande do Norte de óbitos por câncer de estômago  
 A – Óbitos nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes.  
 B – Análise LISA univariada (Moran Local) de dependência geográfica dos casos de óbitos.



**Figura 9:** Mapas do estado do Rio Grande do Norte de óbitos por câncer de pele  
 A – Óbitos nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes.  
 B – Análise LISA univariada (Moran Local) de dependência geográfica dos casos de óbitos.

	$\chi^2$	df	p
Vias aéreas	18.1	1	< .001
Medula	0.00105	1	0.974
CA TOTAL	1630	1	< .001
Estômago	231	1	< .001
Pele	184	1	< .001
Mama	22.4	1	< .001

**Tabela 1:** Significância dos dados encontrados quando relacionados os casos de câncer e o tipo de rocha (presença de rochas ígneas e metamórficas nos municípios do Rio Grande do Norte).

Tipos de CA		OR	95% OR Confidence Interval		p
			Lower	Upper	
Vias aéreas	IGNEAS_METAMORFICAS1	1.08	1.04	1.12	< .001
Medula	IGNEAS_METAMORFICAS1	1.00	0.956	1.05	0.974
CA TOTAL	IGNEAS_METAMORFICAS1	1.28	1.27	1.30	< .001
Estômago	IGNEAS_METAMORFICAS1	1.37	1.31	1.43	< .001
Pele	IGNEAS_METAMORFICAS1	1.80	1.65	1.97	< .001
Mama	IGNEAS_METAMORFICAS1	1.13	1.07	1.19	< .001

**Tabela 2:** Intervalo de confiança dos dados encontrados quando relacionados os casos de câncer e o tipo de rocha (presença de rochas ígneas e metamórficas nos municípios do Rio Grande do Norte).

Através do mapa radiométrico ternário (Figura 1A), é possível perceber que os elementos Urânio, Tório e Potássio se encontram nas áreas formadas pelo embasamento cristalino (Figura 1B), podendo-se inferir que a cadeia de decaimento dos elementos também aumenta a radiação de fundo em toda a região. Além dos elementos responsáveis pela ocorrência da radiação de fundo encontrarem-se em pegmatitos, eles também são registrados em rochas ígneas e metamórficas no estado do Rio Grande do Norte.

Para Pfaltzgraff (2010), o estado do Rio Grande do Norte é constituído de diferentes formas de relevo, como a área sedimentar na Bacia Potiguar e os antigos terrenos do embasamento cristalino. É possível perceber nos mapas 1A, 1B e 1C que a presença dos radionuclídeos ocorre em toda a metade sul do estado, correspondendo justamente aos terrenos formados por classes de rochas ígneas e metamórficas. Mapas geológicos do Rio Grande do Norte também mostraram a formação de corpos plutônicos em 9,6% do território, distribuindo-se principalmente na região centro-sul do estado (DE OLIVEIRA, 2019) e estas rochas ígneas plutônicas apresentaram concentrações variadas de Urânio, Tório e Potássio (SILVA et al., 2010).

O conhecimento da geodiversidade de uma região, além da percepção sobre sua composição mineral, rochas, relevo, solo e clima, deve identificar a forma mais segura de trabalhar com os recursos naturais, suas limitações e potencialidades, assim como as consequências possíveis do seu manejo inadequado (PFALTZGRAFF; TORRES, 2010; DE OLIVEIRA; DO NASCIMENTO, 2019). É possível perceber através da Figura 1C a ocorrência dos óbitos provocados por câncer sobrepostos à informação do tipo de rocha que os municípios apresentam.

Percebe-se através dos resultados apresentados, que os casos de óbitos por diferentes tipos de câncer seguem um padrão geográfico bem estabelecido no estado do Rio Grande do Norte (FIGURAS 2A e 2B). A maior parte das ocorrências se dá em áreas com características de solo formado por rochas ígneas e metamórficas abundantes (DA COSTA CAMPOS et al., 2013; DE OLIVEIRA, DO NASCIMENTO, 2019), assim como na região da Província Pegmatítica da Borborema e Seridó, e onde estudos anteriores determinaram a presença de minerais radioativos como o Urânio (DA COSTA CAMPOS et al., 2009).

Nas figuras 3A e 3B, quando as análises estatísticas de Moran e Moran Local são realizadas, os resultados apontam a presença de dependência espacial, assim como a presença de agregados (*clusters*), sugerindo uma correlação positiva entre a composição das rochas e os casos de óbitos.

A análise de Moran Global (Figura 4) apresentou como resultado 0,43 com um valor de  $p=0,001$ , identificando fortemente a correlação geográfica entre os municípios. Os resultados

obtidos neste levantamento epidemiológico corroboram estudos como os realizados por Auvinen (2005), Darby (2006), Boice (2007) e Al-Zoughool e Krewski (2009), onde os autores sugeriram uma correlação positiva entre a exposição ao radônio interior e o risco de desenvolver câncer.

A radiação ionizante natural que existe nos solos, rochas, água e ar é causada principalmente pela presença de radionuclídeos (radioisótopos) primordiais como o Urânio ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ), o Tório ( $^{232}\text{Th}$ ), o Potássio ( $^{40}\text{K}$ ) e seus Descendentes (DERIN et al., 2012; DA COSTA DANTAS et al., 2013; SHOEIB, THABAYNEH, 2014; CHAVES et al., 2016). O gás radônio, que faz parte da cadeia de decaimento do Urânio, está associado ao aumento da radiação de fundo e da contaminação das águas da região (COSTA-DE MOURA; SILVA; PREREIRA, 2005; CAMPOS et al., 2009; PASTURA; CAMPOS, 2016).

As formações nos municípios de Parelhas, Equador, Jucurutu, Junco do Seridó, entre outras, apresentaram anomalias na presença de Tório, cujo valor estaria acima das concentrações encontradas normalmente na crosta terrestre. A formação conhecida como Granito Galo Branco, no município de Equador, por exemplo, apresentou valores elevados de Urânio, especialmente nas porções norte e sul deste granito (SILVA et al., 2010).

Para Costa-de-Moura (2005), nos municípios potiguares de Equador, Parelhas e Carnaúba dos Dantas, os pegmatitos inspecionados revelaram a presença de material radioativo e cristais de Uraninita isolados ou contidos na estrutura dos minerais.

As análises estatísticas apresentadas nas Figuras 2B, 3A, 3B e 4 confirmam os resultados de estudos prévios, aonde as regiões da Província Pegmatítica da Borborema, do Seridó e alguns municípios que fazem parte da região do embasamento cristalino possuem mais ocorrências de óbitos por câncer que o restante do estado do Rio Grande do Norte (DA COSTA CAMPOS et al., 2013b; MARCON et al., 2017). Os dados epidemiológicos encontrados mostram que existe uma correlação geográfica importante, com a formação de agregados (*clusters*) nas regiões previamente pesquisadas e conhecidas por possuir contaminação com Radônio nas casas e corpos d'água dos municípios (GARCIA et al., 2011; DA COSTA DANTAS et al., 2013a; CHAVES et al., 2016; MARCON et al., 2017). Por outro lado, em uma revisão sistemática realizada por Da Costa Dantas (2019), de todos os artigos publicados no século XXI sobre a radioatividade natural no Brasil, apenas quatro eram estudos epidemiológicos sobre seus efeitos na saúde humana, demonstrando desta forma a necessidade de aprofundamento no tema e suas consequências para a saúde pública.

Em um estudo de toxicidade realizado no município de Lajes Pintadas, com amostras do açude Riacho das Cachoeiras, o resultado demonstrou que as amostras da água foram tóxicas para o organismo bioindicador (DA COSTA DANTAS et al., 2013). Também em Lajes

Pintadas, Da Costa Dantas (2017) identificaram que o açude Riacho das Cachoeiras possuía substâncias tóxicas como o Radônio e efeitos mutagênicos foram observados nas espécies pesquisadas. De acordo com a secretaria de saúde de Lajes Pintadas os índices de neoplasias atingem 9% da população local. Enquanto as taxas de câncer no Brasil giram em torno de 529 casos a cada 100.000 habitantes, em Lajes Pintadas (população 4.614 habitantes), no ano de 2010 foram registrados 420 novos casos de câncer (DA COSTA DANTAS et al., 2013). No estudo de Da Costa Campos (2013) todas as residências avaliadas do município ultrapassaram o nível de Radônio interior preconizado pela OMS ( $100\text{Bq/m}^3$ ) e 98% delas excederam o nível máximo de exposição sugerido.

Chaves et al. (2016) avaliaram a qualidade da água do açude Boqueirão no município de Parelhas, RN, e concluíram que as populações que vivem no local estão expostas a contaminantes naturais e antropogênicos, assim como à radiação.

A contaminação de corpos d'água por metais pesados e radiação ionizante é um grave problema ambiental que pode afetar a qualidade da água e a saúde humana (CHAVES et al., 2016). A qualidade dos reservatórios de água em todo o planeta tem sido comprometida pela percolação de agentes contaminantes, aumentando a existência de agentes genotóxicos (que provocam lesões na molécula do DNA) nos ecossistemas (GARCIA et al., 2011) e é especialmente preocupante na região do semiárido nordestino onde a escassez hídrica afeta a sua população.

Além da contaminação dos corpos d'água, existem estudos feitos com materiais de construção no Egito (SHOEIB; THABAYNEH, 2014) e na Índia (DERIN et al., 2012) que procuraram determinar se a radiação proveniente do decaimento dos elementos Urânio e Tório poderia ser encontrada em materiais como tijolos e areia. Ambos os resultados demonstraram concentrações acima do recomendado pela Organização Mundial de Saúde nos tijolos de cimento, no granito, em amostras de cerâmica e na areia. Desta forma, é possível inferir que outras formas de contaminação possam estar ocorrendo na região e atingindo a população, provocando o aumento da concentração de Radônio Interior. De acordo com os resultados encontrados na revisão sistemática feita por Da Costa Dantas et al. (2019), no semiárido nordestino o radônio interior está presente em altos níveis em muitas residências, apesar da ventilação que ocorre naturalmente em função dos tipos de construção encontradas.

O município de Lucrécia, no Rio Grande do Norte, que se encontra em área de terreno do embasamento cristalino, porém distante da Província Pegmatítica da Borborema, apresentou alta incidência de câncer e, através dos seus reservatórios de água, a população foi exposta a metais pesados e radioatividade natural (MARCON et al., 2017). Garcia et al. (2011) também identificaram agentes genotóxicos através do estudo de micronúcleo no reservatório da cidade.

Altos níveis de radionuclídeos nas casas foram detectados e a concentração de Radônio interior foi em média, seis vezes mais alta que no controle, com valores que atingiram até 2098,7 Bq/m<sup>3</sup> (MARCON et al., 2017). Da Costa Campos (2013) obtiveram como resultado que todas as residências, tanto da zona urbana quanto rural, apresentaram Radônio Interior acima do sugerido pela OMS, bem como excederam o nível máximo de exposição. O açude de Lucrécia também ultrapassou o nível de radiação máximo admitido pela Agência Ambiental Americana (EPA-EUA 0.56Bq/l) e, portanto, não foi considerado potável.

Da mesma forma, a Figuras 5 evidencia uma correlação espacial positiva entre os municípios com maiores casos de óbitos por câncer nas vias aéreas e a composição das rochas (rochas ígneas e/ou metamórficas), e a presença de radiação de fundo. É importante notar que quando inalados ou ingeridos, os radionuclídeos naturais podem ser absorvidos pelos órgãos, de acordo com o metabolismo ou propensão de cada órgão frente aos diferentes tipos de radiação, provocando alterações nas células e tecidos (PASTURA; CAMPOS, 2016).

O aumento do risco de desenvolver câncer de pulmão em áreas com contaminação por radônio já está bem estabelecida na literatura mundial, através de inúmeros estudos epidemiológicos, de coorte e caso-controle (BOICE et al, 2007; AL-ZOUGHOOL; KREWSKI, 2008; OMS, 2016) e o presente estudo corrobora estes resultados prévios (Figura 5). Darby et al. (2006) fizeram um levantamento através de 13 estudos realizados na Europa sobre a relação entre a presença de Radônio interior e a ocorrência de casos de câncer de pulmão. Os dados apresentados demonstraram uma forte evidência entre a ocorrência de Radônio e este tipo de câncer, mesmo quando as concentrações foram menores que 200Bq/m<sup>3</sup>.

Nas Figuras 5, 6 e 7 pode-se perceber que os casos de óbitos por câncer nas vias aéreas, mamas e medula óssea apresentam características semelhantes em relação à localização do maior número de casos.

É importante considerar que órgãos e tecidos recebem quantidades diferentes de radiação na inalação do gás Radônio. O pulmão é o órgão que recebe as doses mais altas, entretanto, o Radônio é mais solúvel em tecidos com alta concentração de gordura, podendo, portanto, atingir a medula óssea e as mamas (KENDALL; SMITH, 2002). O radônio quando inalado também é capaz de fornecer uma dose de radiação ao tecido mamário, onde pode continuar a decair e emitir partículas indutoras de danos ao DNA (VOPHAM et al., 2017). Apesar de haver um número de trabalhos reduzido para determinar a forma com que o radônio interfere no desenvolvimento do câncer de mama, estudos foram capazes de associar a exposição cumulativa por radônio com o risco de tumores de mama, especialmente o câncer de mama negativo para receptores de estrogênio (VOPHAM et al., 2017; PENG et al., 2020). Da mesma forma, estudos realizados anteriormente, demonstraram que alguns tipos de leucemia,

especialmente a leucemia linfóide crônica no adulto e a leucemia mieloide aguda em crianças apresentaram uma correlação positiva entre a exposição cumulativa ao radônio e sua incidência (EVRARD et al., 2006; ŘEŘIČHA et al., 2006).

Em relação à ingestão do Radônio contido na água, Kendall (2002) realizaram um estudo através de modelos e concluíram que este poderia aumentar o risco de desenvolver câncer de estômago, embora ainda não completamente demonstrado por estudos epidemiológicos. O presente estudo demonstrou uma correlação, porém mais fraca entre a presença do Radônio na região e os casos de óbitos por câncer de estômago – Figura 8.

Na revisão sistemática realizada por Da Costa Dantas (2019), os resultados encontrados não foram capazes de determinar se realmente existe relação entre beber a água contaminada por Radônio e o aumento dos casos de câncer de estômago, e para os autores, o tema permanece controverso, já que diferentes estudos apontam também para diferentes resultados. Um estudo retrospectivo realizado no estado da Pensilvânia, nos Estados Unidos, comparou os níveis de radônio reportados pelo Departamento de Recursos Ambientais em cada Condado do estado e a incidência de casos e óbitos por câncer de estômago, esôfago, cólon, pâncreas e retal em toda a população. Os resultados mostraram uma correlação positiva entre os níveis encontrados de radônio e a mortalidade por câncer gástrico (KJELLBERG; WISEMAN, 1995).

Por outro lado, em um estudo realizado na Finlândia, foi avaliado o risco de desenvolver câncer de estômago e a presença de radionuclídeos na água de poços coletados durante cinco meses. Os resultados mostraram que não houve associação entre a presença de Radônio e o risco de desenvolver este tipo de câncer (AUVINEN, 2005), no entanto, as coletas foram feitas somente nos poços e não nas residências dos moradores da região. Turner (2012), em um estudo de coorte, utilizaram os dados do CPS-II (grande estudo prospectivo que envolveu 1.2 milhões de norte-americanos em 1982) através de questionários de saúde e acompanhamento. Foram selecionados participantes que moravam em áreas identificadas pela presença de radônio interior e não eram fumantes. Os resultados não encontraram associações entre a presença de radônio e o aumento de casos de câncer, com a exceção do câncer de pulmão. Também nos Estados Unidos, no estado do Colorado, foi feita uma avaliação das taxas de mortalidade por diferentes tipos de câncer na população de seis condados, onde apenas um deles tinha o histórico de mineração de Urânio. Apenas o câncer de pulmão em homens foi maior neste condado do que no restante dos condados investigados (BOICE; MUMMA; BLOT, 2007). Todos os estudos prévios sugerem que uma avaliação mais profunda, envolvendo estudos de caso-controle devam ser realizadas no futuro.

De acordo com Kendall (2002), o Radônio também poderia se depositar sobre a pele, onde normalmente seria isolado pela camada de células mortas existentes. Entretanto, quando

a pele é fina, como a pele do rosto, as partículas Alfa teriam a capacidade de alcançar áreas mais sensíveis, como a camada de células basais, onde acredita-se que o câncer de pele se origine. Em um estudo realizado na Suíça, país que tem um dos mais altos índices de câncer de pele do planeta, estimados em torno de 35 casos de melanoma maligno por 100.000 habitantes, os resultados demonstraram uma correlação positiva entre a contaminação por radônio interior e a incidência desse tipo de câncer. Foram levados em consideração dados censitários de mais de cinco milhões de pessoas, considerando sua área de moradia, exposição solar e dados de saúde. De acordo com os autores, os resultados sugeriram que a presença de radônio é relevante como fator de risco para o desenvolvimento de câncer de pele (VIENNEAU et al, 2017). O presente estudo (Figura 9) não encontrou uma correlação forte entre os casos de óbitos por câncer de pele e uma região específica no estado do Rio Grande do Norte.

As Tabelas 1 e 2 apresentam o resultado das análises de significância e o intervalo de confiança dos dados de tipos de rochas presentes quando sobrepostos aos dados de óbitos pelos diferentes tipos de câncer nos municípios do Rio Grande do Norte. Para a UNSCEAR (2017) mais estudos que incluam análises estatísticas e controle nos fatores de confusão são necessários para compreender os riscos de câncer induzido por radiação de fontes ambientais, considerando a importância dessa problemática na saúde dos indivíduos em diferentes regiões do planeta.

## **Conclusões**

O nordeste brasileiro apresenta altos índices de câncer, bem como grandes reservatórios de Urânio e a presença de seus Descendentes em diversas regiões, que contribuem com o aumento da radiação de fundo. O presente trabalho explicitou a associação espacial de ocorrência de câncer com características geológicas presentes no estado. A coleta e a espacialização dos dados epidemiológicos sobre câncer nos municípios do estado do Rio Grande do Norte demonstraram a formação de agregados nos municípios localizados nas regiões do Seridó e da Província Pegmatítica da Borborema, bem como em toda a região que pertence ao embasamento cristalino, sendo possível desta forma, confirmar que estes locais apresentam alguma particularidade em relação ao restante do estado.

Com a comprovação de pesquisas anteriores de incidência de câncer e dos fatores de risco associados a estas regiões, pode-se inferir que um ou mais componentes genotóxicos e/ou carcinogênicos estão presentes e fazem-se necessários posteriormente estudos de coorte e casos-controle para a confirmação da etiologia das patologias pesquisadas, assim como a criação de um banco de dados geográfico que auxilie na análise, planejamento e ações de saúde e mitigação dos riscos envolvidos para a população.

## Referências

- AL-ZOUGHLOO, Mustafa; KREWSKI, Daniel. Health effects of radon: a review of the literature. **International journal of radiation biology**, v. 85, n. 1, p. 57-69, 2009.
- AUVINEN, Anssi et al. Radon and other natural radionuclides in drinking water and risk of stomach cancer: A case-cohort study in Finland. **international Journal of Cancer**, v. 114, n. 1, p. 109-113, 2005.
- BARCELLOS, C.; BASTOS, F. I. Geoprocessamento, ambiente e saúde: uma união possível? **Cadernos de Saúde Pública**, v. 12, p. 389-397, 1996.
- BOICE JR, John D.; MUMMA, Michael T.; BLOT, William J. Cancer and noncancer mortality in populations living near uranium and vanadium mining and milling operations in Montrose County, Colorado, 1950–2000. **Radiation research**, v. 167, n. 6, p. 711-726, 2007.
- BONFIM, C.; MEDEIROS, Z. Epidemiologia e geografia: dos primórdios ao geoprocessamento. **Espaço Saúde**, v. 10, n. 1, p. 53-62, 2008.
- BHOWMICK, Tanuka et al. Informing geospatial toolset design: understanding the process of cancer data exploration and analysis. **Health & place**, v. 14, n. 3, p. 576-607, 2008.
- CAMPOS, T.F.C et al. Environmental and Safety Education Campaign on the Radioactivity and the Risk of Malignity in the Pegmatite Borborema Province: Preventive Measures to Avoid Contamination with U and Th. **Estudos Geológicos** v. 19, p. 77-92, 2009.
- CHAVES, L. C. C. et al. Water mutagenic potential assessment on a semiarid aquatic ecosystem under influence of heavy metals and natural radioactivity using micronuclei test. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 8, p. 7572-7581, 2016.
- CORREA, A. C. B.; TAVARES, B. DE A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do planalto da borborema. **Revista do Instituto Geológico**, v.31, p. 35-52, 2010.
- CORRÊA, J. N. et al. Monitoramento Da Radioatividade Alfa Relacionada Ao Radônio-222 Em Águas De Poços Da Região Metropolitana De Curitiba-Pr. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 2, 2016.

COSTA-DE-MOURA, J.; SILVA, L. F.; PEREIRA, V. Pegmatitos radioativos da Serra da Borborema: mineralogia e geoquímica de radiominerais e de minerais radioativos. In: **X Congresso Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica do MERCOSUL**, 2005.

CPRM. (2020). Mapa radiométrico ternário da Província da Borborema. Natal: CPRM / Serv. Geol. Brasil. URL: <http://cprm.gov.br>. Acesso 24.01.2022.

DA COSTA CAMPOS<sup>a</sup>, T. F. et al. O Gás Radônio E A Radiação Natural Em Terrenos Metagraníticos E Pegma-Títicos: O Caso Do Município De Lages Pintadas (Rio Grande Do Norte, Brasil). **Geologia**, v. 26, n. 02, 45-52, 2013.

DA COSTA CAMPOS<sup>b</sup>, T. F. et al. O Gás Radônio Doméstico e a Radioatividade Natural Em Terrenos Metamórficos: O Caso Do Município De Lucrécia (Rio Grande Do Norte, Brasil). **Geologia**, v. 26, n. 02, 85-93, 2013.

DA COSTA DANTAS, R. et al. Uso Da Ecotoxicologia Na Investigação Da Toxicidade Associada À Radiação Natural No Açude Riacho Da Cachoeira, Região Do Semiárido/Brasil. **Geologia**, v. 26, n. 02, 2013.

DA COSTA DANTAS, R. et al. Influence of natural radon and metal contamination on surface water quality from a Brazilian Semiarid Region. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 39, n. 3, p. 275-282, 2017.

DA COSTA DANTAS, R. et al. Natural radioactivity in Brazil: a systematic review. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-15, 2019.

DARBY, Sarah et al. Residential radon and lung cancer—detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14 208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. **Scandinavian journal of work, environment & health**, p. 1-84, 2006.

DE OLIVEIRA, R. R.; DO NASCIMENTO, M. A. L. Mapa geológico simplificado do estado Do Rio Grande Do Norte: representação cartográfica de elementos geológicos para divulgação das Geociências. **Terra e Didática**, v. 15, p. e019003-e019003, 2019.

DE REZENDE NASCIMENTO, P.S.; PETTA, R. A.; CAMPOS, T. Mapeamento temático da Província Pegmatítica Borborema no estado do Rio Grande do Norte: municípios de Parelhas e Equador. **Revista GeoNordeste**, n. 3, p. 57-72, 2014.

DERIN, M.T. et al. Radionuclides and radiation indices of high background radiation area in Chavara-Neendakara placer deposits (Kerala, India). **PloSone**, v.7, n.11 p.e 50468, 2012.

DO NASCIMENTO, Marcos Antonio Leite; GALINDO, Antonio Carlos; DE MEDEIROS, Vladimir Cruz. Ediacaran to Cambrian magmatic suites in the Rio Grande do Norte domain, extreme Northeastern Borborema Province (NE of Brazil): Current knowledge. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 58, p. 281-299, 2015.

EVARD, Anne-Sophie et al. Childhood leukemia incidence and exposure to indoor radon, terrestrial and cosmic gamma radiation. **Health physics**, v. 90, n. 6, p. 569-579, 2006.

FREITAS, Luís Carlos Bastos et al. Geodiversidade conceitos, aplicações e estado da arte no Brasil: uma aplicação ao Geopark Araripe. **Estudos Geológicos**, v. 28, n. 1, p. 86-103, 2018.

GARCIA, A. C. F. S. et al. Micronucleus study of the quality and mutagenicity of surface water from a semi-arid region. **J of Envl Monitoring**, v. 13, n. 12, p. 3329-3335, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censos demográficos/2010. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 15 set. 2019.

HAMZA, V. Zareena; MOHANKUMAR, Mary N. Cytogenetic damage in human blood lymphocytes exposed in vitro to radon. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 661, n. 1-2, p. 1-9, 2009.

KENDALL, G. M.; SMITH, T. J. Doses to organs and tissues from radon and its decay products. **Journal of Radiological Protection**, v. 22, n. 4, p. 389, 2002.

KJELLBERG, Sten; WISEMAN, Jeffrey S. The relationship of radon to gastrointestinal malignancies. **The American surgeon**, v. 61, n. 9, p. 822-825, 1995.

MARCON, A. E. et al. Mutagenic potential assessment associated with human exposure to natural radioactivity. **Chemosphere**, v. 167, p. 36-43, 2017.

OMS -Manual da OMS sobre radônio em ambientes internos: uma perspectiva de saúde pública / editado por Hajo Zeeb e Ferid Shannoun. São Paulo, SP: 1ª Edição, 2016.120p

PASTURA, V. F.S.; CAMPOS, T. F.C. Campanha de esclarecimento: riscos de contaminação pessoal, em pequenas minerações, por minérios radioativos-Urânio e Tório. **Revista Carioca de Ciência, tecnologia e educação**, v. 1, n. 1, 2016.

PENG, Cheng et al. Low dose environmental radon exposure and breast tumor gene expression. **BMC cancer**, v. 20, n. 1, p. 1-10, 2020.

PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos; TORRES, Fernanda Soares de Miranda. Geodiversidade do estado do Rio Grande do Norte. 2010.

ŘEŘIČHA, Vladimír et al. Incidence of leukemia, lymphoma, and multiple myeloma in Czech uranium miners: a case-cohort study. **Environmental Health Perspectives**, v. 114, n. 6, p. 818-822, 2006.

SAMET, J. M. Radiation and cancer risk: a continuing challenge for epidemiologists. **Environmental Health**, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2011.

SEVERO, E.; SOUSA, H. O Risco do Radônio em Ambientes Internos. **CIAIQ2018**, v. 3, 2018.

SILVA, S. M. P. D. et al. Espectrometria de raios gama de granitos pegmatíticos da Província Pegmatítica da Borborema (PPB), nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, n. 4, p. 673-690, 2010.

SHOEIB, M. Y.; THABAYNEH, K. M. Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation rate in various samples of Egyptian building materials. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, v. 7, n. 2, p. 174-181, 2014.

TURNER, Michelle C. et al. Radon and nonrespiratory mortality in the American Cancer Society cohort. **American journal of epidemiology**, v. 176, n. 9, p. 808-814, 2012.

UNSCEAR - UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION et al. **Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation**, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2016 **Report: Report to the General Assembly, with Scientific Annexes**. United Nations, 2017.

VIENNEAU, Danielle et al. Effects of radon and UV exposure on skin cancer mortality in Switzerland. **Environmental health perspectives**, v. 125, n. 6, p. 067009, 2017.

VOPHAM, Trang et al. Environmental radon exposure and breast cancer risk in the Nurses' Health Study II. **Environmental Health**, v. 16, n. 1, p. 1-14, 2017.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi verificado que apesar da ampla utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (GIS) em pesquisas sobre câncer, os resultados demonstraram que ainda há necessidade de consolidação da temática dentro de um contexto de saúde única, especialmente se tratando de doenças crônicas. Pode-se inferir também que a maior parte dos estudos de câncer e GIS na promoção da saúde única, estão concentrados em países que apresentam um maior desenvolvimento econômico. Apesar do câncer ser uma doença que ocorre em todos os países, é importante destacar que sua ocorrência pode ser agravada através de elementos de contaminação, aspectos ambientais naturais e seus possíveis riscos associados. Desta maneira, considerando a transdisciplinaridade da “saúde única”, a pesquisa sobre o câncer, assim como as ações de prevenção, mitigação e tratamento desta patologia seriam beneficiadas, podendo assim, fazer parte dos objetivos do desenvolvimento sustentável para a saúde.

Dentro do levantamento epidemiológico realizado, através do uso de um sistema de informação geográfica e de bancos de dados sobre câncer no estado do Rio Grande do Norte, foi possível responder algumas perguntas, enquanto levantava outros questionamentos pertinentes. A primeira pergunta que precisava ser esclarecida é se realmente os óbitos por câncer na região de solo formado pelo embasamento cristalino obedeciam a um padrão espacial diferente dos demais municípios do estado, e os resultados apresentados demonstraram que essa premissa é verdadeira. A análise espacial realizada através das ferramentas de Moran Global e LISA comprovaram que a região possui taxas mais altas de óbitos pelos tipos de câncer pesquisados e que há a formação de *clusters*.

A segunda pergunta respondida é se os GIS seriam uma ferramenta adequada para esse tipo de estudo epidemiológico, que precisa agregar diferentes tipos de atributos, onde a exposição e o aparecimento da patologia têm um período de latência importante. De acordo com os resultados obtidos no presente estudo, o GIS se mostrou extremamente eficaz em agregar as diferentes informações e criar todas as camadas que foram necessárias para a melhor visualização dos dados.

Somado a isso, os estudos prévios realizados na região corroboram a hipótese de que algum fator ambiental nocivo está presente e interferindo na saúde da população estudada. É de domínio da Geologia o tipo de rocha e a presença de minerais que contribuem para o aumento da radiação de fundo da região e que provocam a contaminação da água, ar e moradias dos habitantes.

Tendo em vista o que foi exposto, é importante que estudos de caso-controle sejam

conduzidos no futuro, para que a hipótese agora levantada de que a contaminação por radônio esteja interferindo na saúde da população da região possa ser confirmada, o que a própria OMS indica em casos de estudos epidemiológicos de risco ambiental.

## **9 APÊNDICE**

Manuscrito enviado após o Aceite de publicação do Periódico: ACTA Toxicológica Argentina (ISSN 0327-9286), seguindo as normas da revista. O artigo foi apresentado no I Congresso Ibero-americano de Saúde Ambiental (I SIBSA), onde recebeu a premiação de Segundo Lugar geral e Primeiro lugar da temática apresentada, em dezembro de 2021.

## **ANÁLISE GEOESPACIAL DA OCORRÊNCIA DE CÂNCER ASSOCIADO À RADIOATIVIDADE NATURAL NO RIO GRANDE DO NORTE**

1. **Simone Martinelli**; Aluna do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA-UFRN) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte;  
E-mail: [simonemartinelli2014@gmail.com](mailto:simonemartinelli2014@gmail.com)
2. **Julio Navoni\***; Professor do programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA-UFRN) e do curso de Farmácia- UFRN  
E-mail: [navoni.julio@gmail.com](mailto:navoni.julio@gmail.com)  
+55(84)4005-9949

### **RESUMO**

O estado do Rio Grande do Norte, localizado na região Nordeste do Brasil, possui áreas de formação de granitos e pegmatitos com minerais que apresentam concentrações significativas de Urânio, Tório e Potássio, cujos isótopos radioativos e seus produtos de decaimento podem servir de fontes de contaminação através da inalação, absorção pela pele ou ingestão. Estudos anteriores determinaram altas concentrações do gás Radônio, que está presente na cadeia de decaimento do Urânio, nos corpos d'água e residências de municípios das regiões do Seridó e da Província Pegmatítica da Borborema. Estudos de incidência de câncer também encontraram municípios com índices superiores aos da média nacional nestas regiões. O presente estudo epidemiológico tem por objetivo analisar a ocorrência de casos de câncer e sua vinculação com exposição a fontes naturais de radioatividade através do banco de dados do DATASUS e um sistema de informação geográfica (SIG). Os resultados mostraram a formação de agregados nos municípios localizados nas regiões do Seridó e da Província Pegmatítica da Borborema, onde foi vista uma taxa maior de óbitos causados pelos tipos de câncer pesquisados quando comparados a municípios com semelhantes características socioeconômicas e IDH.

**Palavras-chave:** Radônio Interior; Borborema; Câncer de Pulmão; Epidemiologia; Sistema de Informação Geográfica

## **GEOSPACE ANALYSIS OF THE OCCURRENCE OF CANCER ASSOCIATED WITH NATURAL RADIOACTIVITY IN RIO GRANDE DO NORTE - BRAZIL**

### **ABSTRACT**

The state of Rio Grande do Norte, located in the northeastern region of Brazil, has areas of granite formation and pegmatites with minerals that have significant concentrations of Uranium, Thorium and Potassium, whose radioactive isotopes and their decay products can serve as sources of contamination through inhalation, absorption through the skin or ingestion. Previous studies have determined high concentrations of the Radon gas, which is present in the Uranium decay chain, in the water bodies and residences of cities in the regions of Seridó and the Pegmatitic Province of Borborema. Cancer incidence studies also found cities with higher indicators than the national average in these regions. The present epidemiological study aims to analyze the occurrence of cancer cases and its linkage with exposure to natural sources of radioactivity through the DATASUS database and a geographic information system (GIS). The results showed the formation of clusters in the municipalities located in the regions of Seridó and Pegmatitic Province of Borborema, where a higher rate of deaths caused by the types of cancer surveyed were seen when compared to cities with similar socioeconomic characteristics and HDI.

**Key-words:** Indoor Radon; Borborema; Lung Cancer; Epidemiology; GIS

## INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais e a diversidade do seu território reflete essa característica. Dentro da região Nordeste do país, ao longo de sua fachada oriental, destaca-se um conjunto de terras altas conhecido como Planalto da Borborema, uma região de clima quente, semiárido, com precipitação pluviométrica escassa e mal distribuída (CORREA et al., 2010). Na sua porção oeste, se encontra a Província Pegmatítica da Borborema, onde corpos pegmatíticos se reúnem em uma área de aproximadamente 6000 km<sup>2</sup>, sendo uma das mais importantes províncias minerais do nordeste do Brasil (DE REZENDE; PETTA; CAMPOS, 2014; PASTURA; CAMPOS, 2016). A Província Pegmatítica da Borborema está localizada na parte central dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte (CAMPOS et al., 2009), distribuindo-se em uma faixa alongada de direção NE-SW (COSTA-DE MOURA; SILVA; PREREIRA, 2005) e seus campos pegmatíticos têm sua própria fonte de material e distribuição geográfica (SILVA, 2010).

Estas rochas pegmatíticas apresentam minerais com diferentes concentrações de Tório, Potássio e Urânio, cujos isótopos radioativos contribuem para o aumento da radiação de fundo na região (CAMPOS et al., 2009; PASTURA; CAMPOS, 2016). O Urânio é um elemento que ocorre naturalmente em solos e rochas (OMS, 2016) podendo ser oxidado em solução aquosa, removido através da lixiviação e depositado em sedimentos longe da sua rocha de origem (PASTURA; CAMPOS, 2016). Por se tratar de um metal radioativo, o Urânio pode ainda se desintegrar gerando uma cadeia de decaimento e ter como Descendentes o Rádio, o Radônio e o Chumbo (CHAVES et al., 2016; SEVERO; SOUZA, 2018). Estes contaminantes possuem a capacidade de bioacumulação, persistindo em tecidos vivos (CHAVES et al., 2016) podendo provocar aberrações cromossômicas e danos no DNA celular (HAMZA;

MOHANKUMAR, 2009).

O Radônio é o responsável por mais de 50% da radiação ionizante natural (PASTURA; CAMPOS, 2016) e esta radiação pode servir de fonte de contaminação através da inalação, da absorção pela pele ou da ingestão. Ele é um gás nobre que tem uma meia-vida de 3,8 dias (OMS, 2016), incolor, inodoro, insípido e inerte, podendo se difundir através das fissuras nas rochas e do solo poroso até a superfície (CORRÊA et al., 2016; SEVERO; SOUZA, 2018), movendo-se assim para o ar, águas superficiais e subterrâneas.

Quando o Radônio é inalado, partículas Alfa ionizantes podem interagir com o tecido biológico gerando danos no DNA celular. As agências de controle ambiental apontam o gás Radônio como um importante agente carcinogênico humano e assim como o tabagismo foi associado à ocorrência de câncer de pulmão, estudos de coorte documentaram o risco desse tipo de câncer junto à radiação durante as mesmas décadas - 1950 e 1960 (SAMET, 2011). Os dados disponíveis na literatura demonstram que o Radônio interior é inclusive o mais importante fator de risco ambiental para o desenvolvimento deste câncer (KENDALL; SMITH, 2002) e a chance de desenvolver a patologia é diretamente proporcional aos níveis e ao tempo de exposição, existindo risco mesmo quando estes níveis se encontram dentro dos recomendados pela OMS de  $100\text{Bq/m}^3$  (DARBY et al, 2004; OMS, 2016). Análises prévias indicam que o desenvolvimento do câncer de pulmão aumenta proporcionalmente à exposição ao gás (OMS, 2016), sendo deste modo considerado como a sua segunda principal causa, ficando atrás apenas do tabagismo. Nos EUA estima-se que mais de 20.000 pessoas morram por ano de câncer de pulmão devido à inalação do Radônio (KENDALL; SMITH, 2002; SEVERO; SOUZA, 2018). Por outro lado, outros tipos de câncer também podem estar associados à contaminação pelo gás e seus produtos de decaimento (OMS, 2016).

Estudos prévios realizados em municípios no estado do Rio Grande do Norte, dentro da região da Província Pegmatítica da Borborema, apresentaram resultados apontando a contaminação por radioatividade em corpos d'água e residências (GARCIA et al., 2011; CHAVES et al., 2016; DA COSTA DANTAS et al., 2017), potencial mutagênico celular (CHAVES et al., 2016; GARCIA et al., 2011) e incidência de câncer acima da média nacional (DA COSTA CAMPOS et al., 2013<sup>a</sup>; DA COSTA DANTAS et al., 2013).

Para entender se existe a formação de agregados nestes municípios pesquisados, são necessários estudos epidemiológicos que levem em consideração as informações sobre os dados de saúde e mortalidade, bem como os referencias geográficos. Neste sentido, o GIS (Sistema de Informação Geográfica) pode funcionar como uma ferramenta para compreender o espaço geográfico, onde se cruzam informações (DE OLIVEIRA; DO NASCIMENTO, 2019), realizando o mapeamento de doenças, estudos ecológicos, estudos de agregados (*clusters*) e vigilância ambiental (BONFIM; MEDEIROS, 2008). A representação cartográfica resultante se torna parte da apuração de coleta, edição, gerenciamento e análise de dados que geram a informação espacial (DE OLIVEIRA; DO NASCIMENTO, 2019) permitindo, desta forma, visualizar os dados de saúde através desta representação.

De acordo com levantamentos realizados em municípios do estado do Rio Grande do Norte (CORREA et al., 2010; DA COSTA CAMPOS et al., 2013a; DA COSTA DANTAS et al., 2013; CHAVES et al., 2016) é possível determinar diversas áreas de contaminação por radioatividade nos corpos d'água e em residências, no entanto, estão faltando estudos epidemiológicos para verificar se existem casos de doenças associadas aos achados geológicos. Estudos epidemiológicos são fundamentais para visualizar o processo saúde-doença dentro das populações através de sua distribuição temporal, espacial e de atributos pessoais, buscando

assim, identificar a existência de padrões de ocorrência e grupos de risco (BARCELLOS; BASTOS, 1996; BONFIM; MEDEIROS, 2008).

Diante do exposto, este estudo tem por objetivo identificar as taxas de mortalidade por câncer associadas à contaminação ambiental e radiação de fundo nos municípios do Rio Grande do Norte e se elas seguem um padrão geográfico específico dentro dos municípios da Província Pegmatítica da Borborema e do Seridó. Utilizando a análise espacial dos dados epidemiológicos para observar a formação de agregados nas regiões, o estudo pretende contribuir para entender a relevância dessa característica ambiental como problemática de saúde pública.

## **MATERIAL E MÉTODO**

### **Área de estudo**

O Estado do Rio Grande do Norte, localizado na região Nordeste do Brasil, possui 3.168.027 habitantes de acordo com o último censo realizado em 2010. A densidade demográfica é estimada em 59,99 hab/km<sup>2</sup> e o Índice de Desenvolvimento Humano é de 0,684 (IBGE). Todos os 167 municípios do Rio Grande do Norte tiveram seus dados de mortalidade por diferentes tipos de câncer coletados através do sistema de acesso à informação do Portal do Ministério da Saúde e especializados para a geração de mapas temáticos.

### **Fontes de Informação**

O TABNET, dentro do Portal DATASUS agrega os dados de mortalidade de 1996 a 2017 pelo CID-10 (Classificação Internacional de Doenças), onde cada

patologia tem um código específico e é o grande banco de dados de saúde / mortalidade brasileiro. Cada tipo de câncer foi identificado através do CID respectivo e posteriormente, feita a busca das ocorrências por município de residência dos casos com a abrangência geográfica de todo o estado do Rio Grande do Norte. O período compreendido da busca foi de dez anos (2007-2017), para reduzir os riscos de variáveis de confusão que poderiam ocorrer pela diferença de população dos municípios.

O estudo dividiu as buscas em Câncer Total, que incluiu todos os casos de óbitos por neoplasias malignas nos municípios, utilizando para isso as categorias de CID de C00 a D09; Câncer de Vias Aéreas com as categorias de CID C30 a C39; Câncer de Mama com a categoria de CID C50; Câncer de Medula (linfoma, mieloma, leucemias) com as categorias de CID C83 a C95; Câncer de Estômago com a categoria de CID C16; Câncer de Pele (melanoma e carcinoma) com as categorias de CID C43, C44 e D04.

Os dados sobre o Índice de Desenvolvimento Humano foram coletados através do Atlas de Desenvolvimento Humano no portal do PNUD. A busca foi feita pelo IDHM, no ano de 2010.

### **Análise dos dados e espacialização**

Os dados foram ponderados, apresentando os resultados divididos pela população de cada município e ocorrência padronizada por 100.000 habitantes no programa **IBMSPSS®**.

O Sistema de Informação Geográfica **TerraView**, utilizou os dados de mortalidade e IDHM e, através dos arquivos *shapes* criou um banco de dados georrelacional e os mapas temáticos de agregação.

A análise estatística de Moran Global e Moran Local, assim como as análises bivariadas, foram realizadas através do programa **GeoDa**, com o objetivo de identificar a existência de dependência espacial, assim como fazer o cruzamento dos dados sobre óbitos com Índices de Desenvolvimento Humano. A análise de proximidade ou Moran Local trabalha com valores de -1 a +1. Todos os valores de 0 a +1 representam uma correlação espacial positiva.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados deste estudo reuniram bancos de dados de saúde, socioeconômicos e ambientais com bases espaciais para monitorar a exposição a agentes de risco e as condições de saúde de populações em um período determinado. Quando a variável localização é introduzida em estudos de saúde, fica possível visualizar as diferenças entre as regiões e a relação da população com o espaço em que ela está inserida (BARCELLOS; BASTOS, 1996).

Os mapas temáticos e a tabela abaixo mostram os resultados obtidos com a coleta e espacialização dos dados e suas análises estatísticas.

Percebe-se através dos resultados apresentados, que os casos de óbitos por diferentes tipos de câncer seguem um padrão geográfico bem estabelecido no estado do Rio Grande do Norte (FIGURAS 2 e 3). A maior parte das ocorrências se dá em áreas com características de solo formado por rochas ígneas abundantes em corpos pegmatitos (DA COSTA CAMPOS et al., 2013; DE OLIVEIRA, DO NASCIMENTO, 2019) e onde estudos anteriores determinaram a presença de minerais radioativos como o Urânio (DA COSTA CAMPOS et al., 2009). A radiação ionizante natural que existe nos solos, rochas, água e ar é causada principalmente pela presença de radionuclídeos (radioisótopos) primordiais como o Urânio ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ), o Tório

( $^{232}\text{Th}$ ), o Potássio ( $^{40}\text{K}$ ) e seus Descendentes (DERIN et al., 2012; DA COSTA DANTAS et al., 2013; SHOEIB, THABAYNEH, 2014; CHAVES et al., 2016).

Mapas geológicos do Rio Grande do Norte mostraram a formação de corpos plutônicos em 9,6% do território, distribuindo-se principalmente na região centro-sul do estado (DE OLIVEIRA, 2019) e estas rochas ígneas plutônicas apresentaram concentrações variadas de Urânio, Tório e Potássio (SILVA et al., 2010). O gás radônio, que faz parte da cadeia de decaimento do Urânio, está associado ao aumento da radiação de fundo e da contaminação das águas da região (COSTA-DE MOURA; SILVA; PREREIRA, 2005; CAMPOS et al., 2009; PASTURA; CAMPOS, 2016).

As formações nos municípios de Parelhas, Equador, Jucurutu, Junco do Seridó, entre outras, apresentaram anomalias na presença de Tório, cujo valor estaria acima das concentrações encontradas normalmente na crosta terrestre. A formação conhecida como Granito Galo Branco, no município de Equador, por exemplo, apresentou valores elevados de Urânio, especialmente nas porções norte e sul deste granito (SILVA et al., 2010).

Para Costa-de-Moura (2005), nos municípios potiguares de Equador, Parelhas e Carnaúba dos Dantas, os pegmatitos inspecionados revelaram a presença de COLTAN radioativa e cristais de Uraninita isolados ou contidos na estrutura dos minerais. Na figura 1, pode-se ver o mapa do estado do Rio Grande do Norte e a presença de pegmatitos. Estas áreas coincidem com a região aonde através da construção do mapa temático, também foram observadas as maiores ocorrências de óbitos por câncer (FIGURA 2).

As análises estatísticas apresentadas nas Figuras 3 e 4 confirmam os resultados de estudos prévios, aonde as regiões da Província Pegmatítica da Borborema e do Seridó possuem mais ocorrências de óbitos por câncer que o restante do estado do Rio Grande do Norte (DA COSTA CAMPOS et al., 2013b; MARCON et

al., 2017). Os dados epidemiológicos encontrados mostram que existe uma correlação geográfica importante, com a formação de agregados (*clusters*) nas regiões previamente pesquisadas e conhecidas por possuir contaminação com Radônio nas casas e corpos d'água dos municípios (GARCIA et al., 2011; DA COSTA DANTAS et al., 2013a; CHAVES et al., 2016; MARCON et al., 2017). Por outro lado, em uma revisão sistemática realizada por Da Costa Dantas (2019), de todos os artigos publicados no século XXI sobre a radioatividade natural no Brasil, apenas quatro eram estudos epidemiológicos sobre seus efeitos na saúde humana, demonstrando desta forma a necessidade de aprofundamento no tema e suas consequências para a saúde pública.

A análise de Moran Global (Figura 4) apresentou como resultado 0,43 com um valor de  $p=0,001$  (99%), identificando fortemente essa correlação geográfica. Os resultados obtidos neste levantamento epidemiológico corroboram estudos como os realizados por Auvinen (2005), Darby (2006), Boice (2007) e Al-Zoughool e Krewski (2009), onde os autores sugeriram uma correlação positiva entre a exposição ao radônio interior e o risco de desenvolver câncer.

Em um estudo de toxicidade realizado no município de Lajes Pintadas, com amostras do açude Riacho das Cachoeiras, o resultado demonstrou que as amostras da água foram tóxicas para o organismo bioindicador (DA COSTA DANTAS et al., 2013). Também em Lajes Pintadas, Da Costa Dantas (2017) identificaram que o açude Riacho das Cachoeiras possuía substâncias tóxicas como o Radônio e efeitos mutagênicos foram observados nas espécies pesquisadas. De acordo com a secretaria de saúde de Lajes Pintadas os índices de neoplasias atingem 9% da população local. Enquanto as taxas de câncer no Brasil giram em torno de 529 casos a cada 100.000 habitantes, em Lajes Pintadas (população 4.614 habitantes), no ano de 2010 foram registrados 420 novos casos de câncer (DA COSTA DANTAS et al.,

2013). No estudo de Da Costa Campos (2013) todas as residências avaliadas do município ultrapassaram o nível de Radônio interior preconizado pela OMS ( $100\text{Bq/m}^3$ ) e 98% delas excederam o nível máximo de exposição sugerido.

Chaves et al. (2016) avaliaram a qualidade da água do açude Boqueirão no município de Parelhas, RN, e concluíram que as populações que vivem no local estão expostas a contaminantes naturais e antropogênicos, assim como à radiação.

O município de Lucrécia, no Rio Grande do Norte, também apresentou alta incidência de câncer e, através dos seus reservatórios de água, a população foi exposta a metais pesados e radioatividade natural (MARCON et al., 2017). Garcia et al. (2011) também identificaram agentes genotóxicos através do estudo de micronúcleo no reservatório da cidade. Altos níveis de radionuclídeos nas casas foram detectados e a concentração de Radônio interior foi em média, seis vezes mais alta que no controle, com valores que atingiram até  $2098,7\text{ Bq/m}^3$  (MARCON et al., 2017). Da Costa Campos (2013) obtiveram como resultado que todas as residências, tanto da zona urbana quanto rural, apresentaram Radônio Interior acima do sugerido pela OMS, bem como excederam o nível máximo de exposição. O açude de Lucrécia também ultrapassou o nível de radiação máximo admitido pela Agência Ambiental Americana (EPA-EUA  $0.56\text{Bq/l}$ ) e, portanto, não foi considerado potável.

A contaminação de corpos d'água por metais pesados e radiação ionizante é um grave problema ambiental que pode afetar a qualidade da água e a saúde humana (CHAVES et al., 2016). A qualidade dos reservatórios de água em todo o planeta tem sido comprometida pela percolação de agentes contaminantes, aumentando a existência de agentes genotóxicos (que provocam lesões na molécula do DNA) nos ecossistemas (GARCIA et al., 2011) e é especialmente preocupante na região do semiárido nordestino onde a escassez hídrica afeta a sua população.

Além da contaminação dos corpos d'água, existem estudos feitos com

materiais de construção no Egito (SHOEIB; THABAYNEH, 2014) e na Índia (DERIN et al., 2012) que procuraram determinar se a radiação proveniente do decaimento dos elementos Urânio e Tório poderia ser encontrada em materiais como tijolos e areia. Ambos os resultados demonstraram concentrações acima do recomendado pela Organização Mundial de Saúde nos tijolos de cimento, no granito, em amostras de cerâmica e na areia. Desta forma, é possível inferir que outras formas de contaminação possam estar ocorrendo na região e atingindo a população, provocando o aumento da concentração de Radônio Interior. De acordo com os resultados encontrados na revisão sistemática feita por Da Costa Dantas et al. (2019), no semiárido nordestino o radônio interior está presente em altos níveis em muitas residências, apesar da ventilação que ocorre naturalmente em função dos tipos de construção encontradas.

O aumento do risco de desenvolver câncer de pulmão em áreas com contaminação por radônio já está bem estabelecida na literatura mundial, através de inúmeros estudos epidemiológicos, de coorte e caso-controle (BOICE et al, 2007; AL-ZOUGHLOOL; KREWSKI, 2008; OMS, 2016) e o presente estudo corrobora estes resultados prévios (Figuras 5 e 6). Darby et al. (2006) fizeram um levantamento através de 13 estudos realizados na Europa sobre a relação entre a presença de Radônio interior e a ocorrência de casos de câncer de pulmão. Os dados apresentados demonstraram uma forte evidência entre a ocorrência de Radônio e este tipo de câncer, mesmo quando as concentrações foram menores que  $200\text{Bq/m}^3$ .

Nas Figuras 5, 7 e 9 pode-se perceber que os casos de óbitos por câncer nas vias aéreas, mamas e medula óssea apresentam características semelhantes em relação à localização do maior número de casos.

Quando inalados ou ingeridos, os radionuclídeos naturais podem ser absorvidos pelos órgãos, de acordo com o metabolismo ou propensão de cada órgão

frente aos diferentes tipos de radiação (PASTURA; CAMPOS, 2016). É importante considerar que órgãos e tecidos recebem quantidades diferentes de radiação na inalação do gás Radônio. O pulmão é o órgão que recebe as doses mais altas, entretanto, o Radônio é mais solúvel em tecidos com alta concentração de gordura, podendo, portanto, atingir a medula óssea e as mamas (KENDALL; SMITH, 2002).

Em relação à ingestão do Radônio contido na água, Kendall (2002) realizaram um estudo através de modelos e concluíram que este pode aumentar o risco de desenvolver câncer de estômago, embora ainda não completamente demonstrado por estudos epidemiológicos. O presente estudo demonstrou uma correlação, porém mais fraca entre a presença do Radônio na região e os casos de óbitos por câncer de estômago – Figuras 11 e 12.

Na revisão sistemática realizada por Da Costa Dantas (2019), os resultados encontrados não foram capazes de determinar se realmente existe relação entre beber a água contaminada por Radônio e o aumento dos casos de câncer de estômago, e para os autores, o tema permanece controverso, já que diferentes estudos apontam também para diferentes resultados. Um estudo retrospectivo realizado no estado da Pensilvânia, nos Estados Unidos, comparou os níveis de radônio reportados pelo Departamento de Recursos Ambientais em cada Condado do estado e a incidência de casos e óbitos por câncer de estômago, esôfago, cólon, pâncreas e retal em toda a população. Os resultados mostraram uma correlação positiva entre os níveis encontrados de radônio e a mortalidade por câncer gástrico (KJELLBERG; WISEMAN, 1995).

Por outro lado, em um estudo realizado na Finlândia, foi avaliado o risco de desenvolver câncer de estômago e a presença de radionuclídeos na água de poços coletados durante cinco meses. Os resultados mostraram que não houve associação entre a presença de Radônio e o risco de desenvolver este tipo de câncer (AUVINEN,

2005), no entanto, as coletas foram feitas somente nos poços e não nas residências dos moradores da região. Turner (2012), em um estudo de coorte, utilizaram os dados do CPS-II (grande estudo prospectivo que envolveu 1.2 milhões de norte-americanos em 1982) através de questionários de saúde e acompanhamento. Foram selecionados participantes que moravam em áreas identificadas pela presença de radônio interior e não eram fumantes. Os resultados não encontraram associações entre a presença de radônio e o aumento de casos de câncer, com a exceção do câncer de pulmão. Também nos Estados Unidos, no estado do Colorado, foi feita uma avaliação das taxas de mortalidade por diferentes tipos de câncer na população de seis condados, onde apenas um deles tinha o histórico de mineração de Urânio. Apenas o câncer de pulmão em homens foi maior neste condado do que no restante dos condados investigados (BOICE; MUMMA; BLOT, 2007). Todos os estudos prévios sugerem que uma avaliação mais profunda, envolvendo estudos de caso-controle devam ser realizadas no futuro.

De acordo com Kendall (2002), o Radônio também pode se depositar sobre a pele, onde normalmente é isolado pela camada de células mortas existentes. Entretanto, quando a pele é fina, como a pele do rosto, as partículas Alfa teriam a capacidade de alcançar áreas mais sensíveis, como a camada de células basais, onde acredita-se que o câncer de pele se origine. Em um estudo realizado na Suíça, país que tem um dos mais altos índices de câncer de pele do planeta, estimados em torno de 35 casos de melanoma maligno por 100.000 habitantes, os resultados demonstraram uma correlação positiva. Foram levados em consideração dados censitários de mais de cinco milhões de pessoas, considerando sua área de moradia, exposição solar e dados de saúde. De acordo com os autores, os resultados sugeriram que a presença de radônio é relevante como fator de risco para o desenvolvimento de câncer de pele (VIENNEAU et al, 2017). O presente estudo não encontrou uma

correlação forte entre os casos de óbitos por câncer de pele e uma região específica no estado do Rio Grande do Norte (Figuras 13 e 14).

A Figura 15, que mostra a análise bivariada entre os casos de óbitos por câncer nos municípios e o IDHM (índice de desenvolvimento humano nos municípios), não apresentou uma correlação evidente, demonstrando que neste estudo, o Índice de Desenvolvimento não foi um fator preponderante para o aumento ou redução dos casos de óbitos por câncer no estado do Rio Grande do Norte. Desta forma, o presente estudo procurou reduzir o número de variáveis de confusão que poderiam distorcer os resultados encontrados. Os dados apontam que municípios com semelhante IDHM possuem taxas de óbitos por câncer muito diferentes e que a formação de agregados se deve a outros fatores ambientais que não os avaliados no índice de desenvolvimento humano.

## **CONCLUSÕES**

O nordeste brasileiro apresenta os maiores índices de casos de câncer do país, bem como grandes reservatórios de Urânio e a presença de seus Descendentes em diversas regiões, que contribuem com o aumento da radiação de fundo. O presente trabalho explicitou a associação espacial de ocorrência de câncer com características geológicas presentes no estado. A coleta e a espacialização dos dados epidemiológicos sobre câncer nos municípios do estado do Rio Grande do Norte demonstraram a formação de agregados nos municípios localizados nas regiões do Seridó e da Província Pegmatítica da Borborema, sendo possível desta forma, confirmar que estes locais apresentam alguma particularidade em relação ao restante do estado, mesmo quando comparados os dados de municípios com semelhantes características socioeconômicas e IDHM.

Com a comprovação de pesquisas anteriores de incidência de câncer e dos fatores de risco associados a estas regiões, pode-se inferir que um ou mais componentes genotóxicos e/ou carcinogênicos estão presentes e fazem-se necessários posteriormente estudos de coorte e casos-controle para a confirmação da etiologia das patologias pesquisadas, assim como a criação de um banco de dados geográfico que auxilie na análise, planejamento e ações de saúde e mitigação dos riscos envolvidos para a população.

## REFERÊNCIAS

AL-ZOUGHLOO, Mustafa; KREWSKI, Daniel. Health effects of radon: a review of the literature. **International journal of radiation biology**, v. 85, n. 1, p. 57-69, 2009.

AUVINEN, Anssi et al. Radon and other natural radionuclides in drinking water and risk of stomach cancer: A case-cohort study in Finland. **international Journal of Cancer**, v. 114, n. 1, p. 109-113, 2005.

BARCELLOS, C.; BASTOS, F. I. Geoprocessamento, ambiente e saúde: uma união possível? **Cadernos de Saúde Pública**, v. 12, p. 389-397, 1996.

BOICE JR, John D.; MUMMA, Michael T.; BLOT, William J. Cancer and noncancer mortality in populations living near uranium and vanadium mining and milling operations in Montrose County, Colorado, 1950–2000. **Radiation research**, v. 167, n. 6, p. 711-726, 2007.

BONFIM, C.; MEDEIROS, Z. Epidemiologia e geografia: dos primórdios ao geoprocessamento. **Espaço Saúde**, v. 10, n. 1, p. 53-62, 2008.

CAMPOS, T.F.C et al. Environmental and Safety Education Campaign on the Radioactivity and the Risk of Malignity in the Pegmatite Borborema Province: Preventive Measures to Avoid Contamination with U and Th. **Estudos Geológicos** v. 19, p. 77-92, 2009.

CHAVES, L. C. C. et al. Water mutagenic potential assessment on a semiarid aquatic ecosystem under influence of heavy metals and natural radioactivity using micronuclei test. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 8, p. 7572-7581, 2016.

CORREA, A. C. B.; TAVARES, B. DE A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do planalto da borborema. **Revista do Instituto Geológico**, v.31, p. 35-52, 2010.

CORRÊA, J. N. et al. Monitoramento Da Radioatividade Alfa Relacionada Ao Radônio-222 Em Águas De Poços Da Região Metropolitana De Curitiba-Pr. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 2, 2016.

COSTA-DE-MOURA, J.; SILVA, L. F.; PEREIRA, V. Pegmatitos radioativos da Serra da Borborema: mineralogia e geoquímica de radiominerais e de minerais radioativos. In: **X Congresso Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica do MERCOSUL**, 2005.

DA COSTA CAMPOS, T. F. et al. O Gás Radônio E A Radiação Natural Em Terrenos Metagraníticos E Pegma-Títicos: O Caso Do Município De Lages Pintadas (Rio Grande Do Norte, Brasil). **Geologia**, v. 26, n. 02, 45-52, 2013.

DA COSTA CAMPOS, T. F. et al. O Gás Radônio Doméstico e a Radioatividade Natural Em Terrenos Metamórficos: O Caso Do Município De Lucrécia (Rio Grande Do Norte, Brasil). **Geologia**, v. 26, n. 02, 85-93, 2013.

DA COSTA DANTAS, R. et al. Uso Da Ecotoxicologia Na Investigação Da Toxicidade Associada À Radiação Natural No Açude Riacho Da Cachoeira, Região Do Semiárido/Brasil. **Geologia**, v. 26, n. 02, 2013.

DA COSTA DANTAS, R. et al. Influence of natural radon and metal contamination on surface water quality from a Brazilian Semiarid Region. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 39, n. 3, p. 275-282, 2017.

- DA COSTA DANTAS, R. et al. Natural radioactivity in Brazil: a systematic review. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-15, 2019.
- DARBY, Sarah et al. Residential radon and lung cancer—detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14 208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. **Scandinavian journal of work, environment & health**, p. 1-84, 2006.
- DE OLIVEIRA, R. R.; DO NASCIMENTO, M. A. L. Mapa geológico simplificado do estado Do Rio Grande Do Norte: representação cartográfica de elementos geológicos para divulgação das Geociências. **Terrae Didatica**, v. 15, p. e019003-e019003, 2019.
- DE REZENDE NASCIMENTO, P.S.; PETTA, R. A.; CAMPOS, T. Mapeamento temático da Província Pegmatítica Borborema no estado do Rio Grande do Norte: municípios de Parelhas e Equador. **Revista GeoNordeste**, n. 3, p. 57-72, 2014.
- DERIN, M.T. et al. Radionuclides and radiation indices of high background radiation area in Chavara-Neendakara placer deposits (Kerala, India). **PloSone**, v.7, n.11 p.e 50468, 2012.
- GARCIA, A. C. F. S. et al. Micronucleus study of the quality and mutagenicity of surface water from a semi-arid region. **J of Envl Monitoring**, v. 13, n. 12, p. 3329-3335, 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censos demográficos/2010. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 15 set. 2019.
- HAMZA, V. Zareena; MOHANKUMAR, Mary N. Cytogenetic damage in human blood lymphocytes exposed in vitro to radon. **Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis**, v. 661, n. 1-2, p. 1-9, 2009.
- KENDALL, G. M.; SMITH, T. J. Doses to organs and tissues from radon and its decay products. **Journal of Radiological Protection**, v. 22, n. 4, p. 389, 2002.

- KJELLBERG, Sten; WISEMAN, Jeffrey S. The relationship of radon to gastrointestinal malignancies. **The American surgeon**, v. 61, n. 9, p. 822-825, 1995.
- MARCON, A. E. et al. Mutagenic potential assessment associated with human exposure to natural radioactivity. **Chemosphere**, v. 167, p. 36-43, 2017.
- OMS -Manual da OMS sobre radônio em ambientes internos: uma perspectiva de saúde pública / editado por Hajo Zeeb e Ferid Shannoun. São Paulo, SP: 1ª Edição, 2016. 120p
- PASTURA, V. F.S.; CAMPOS, T. F.C. Campanha de esclarecimento: riscos de contaminação pessoal, em pequenas minerações, por minérios radioativos-Urânio e Tório. **Revista Carioca de Ciência, tecnologia e educação**, v. 1, n. 1, 2016.
- SAMET, J. M. Radiation and cancer risk: a continuing challenge for epidemiologists. **Environmental Health**, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2011.
- SEVERO, E.; SOUSA, H. O Risco do Radônio em Ambientes Internos. **CIAIQ2018**, v. 3, 2018.
- SILVA, S. M. P. D. et al. Espectrometria de raios gama de granitos pegmatíticos da Província Pegmatítica da Borborema (PPB), nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, n. 4, p. 673-690, 2010.
- SHOEIB, M. Y.; THABAYNEH, K. M. Assessment of natural radiation exposure and radon exhalation rate in various samples of Egyptian building materials. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, v. 7, n. 2, p. 174-181, 2014.
- TURNER, Michelle C. et al. Radon and nonrespiratory mortality in the American Cancer Society cohort. **American journal of epidemiology**, v. 176, n. 9, p. 808-814, 2012.
- VIENNEAU, Danielle et al. Effects of radon and UV exposure on skin cancer mortality in Switzerland. **Environmental health perspectives**, v. 125, n. 6, p. 067009, 2017.

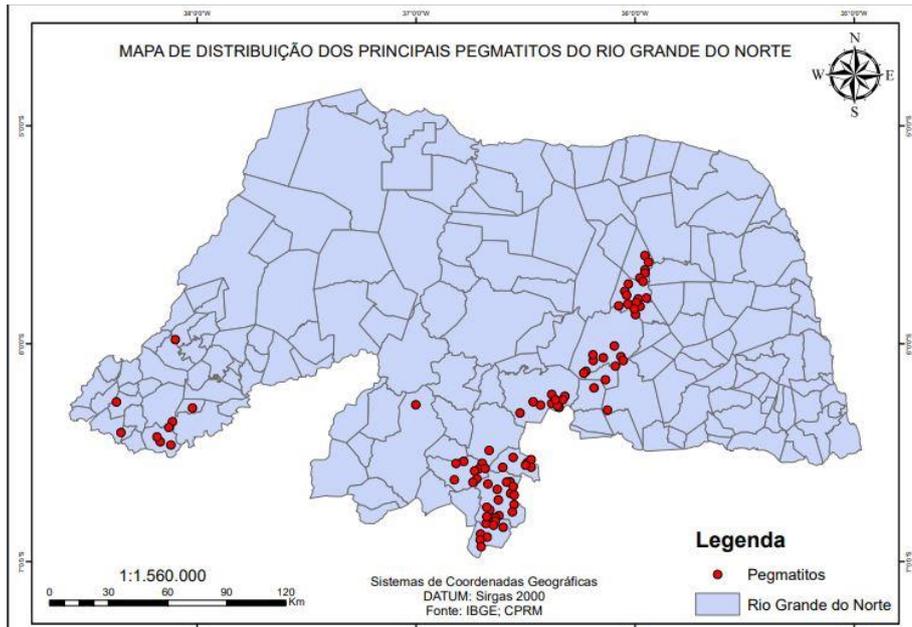


Figura 1

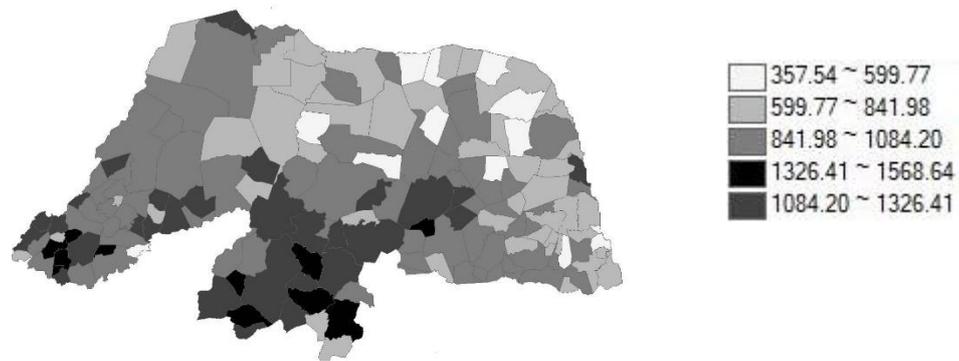


Figura 2

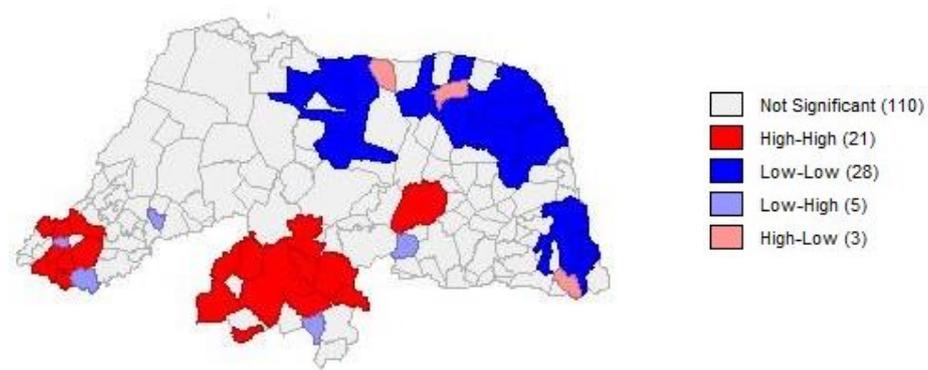


Figura 3

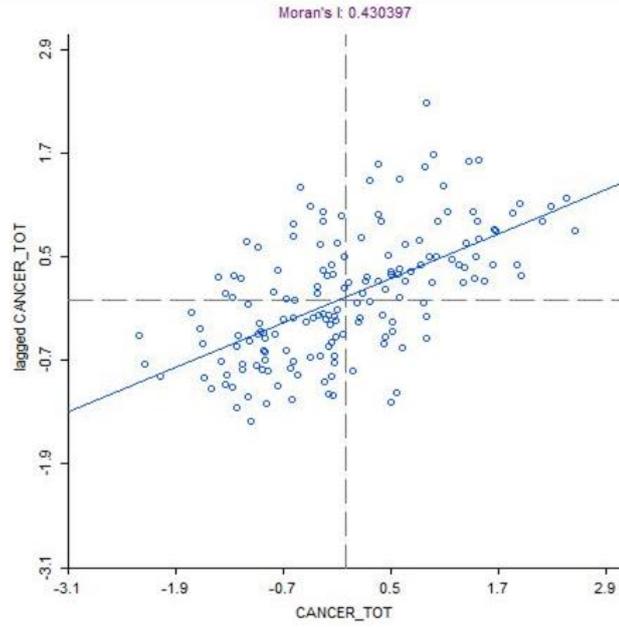


Figura 4

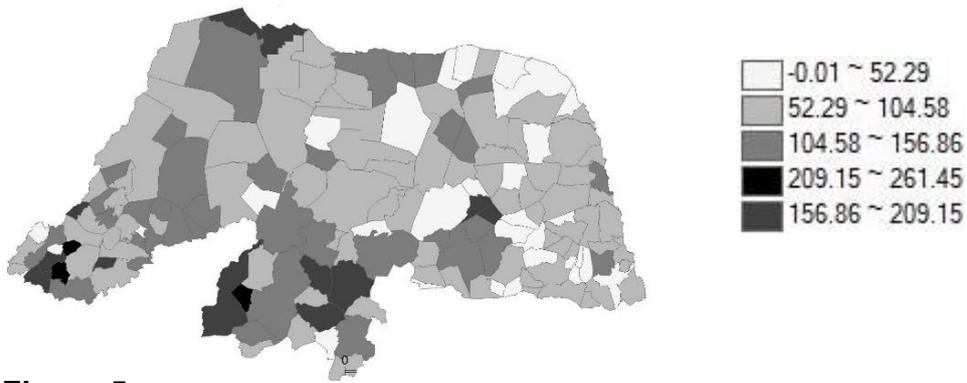


Figura 5

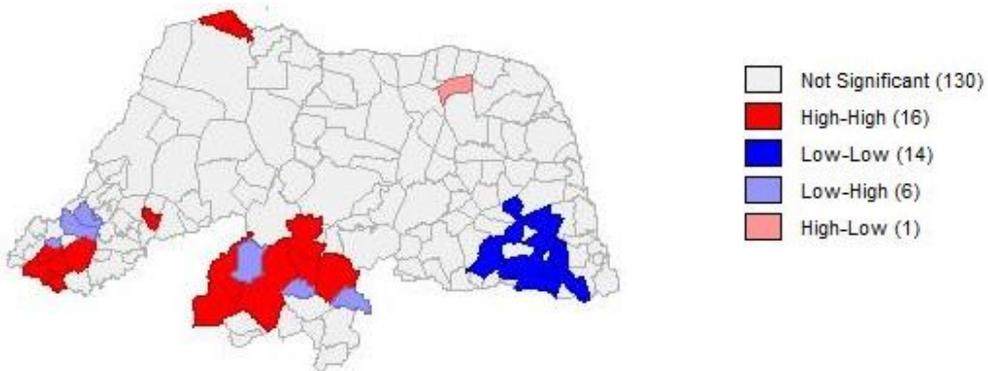


Figura 6

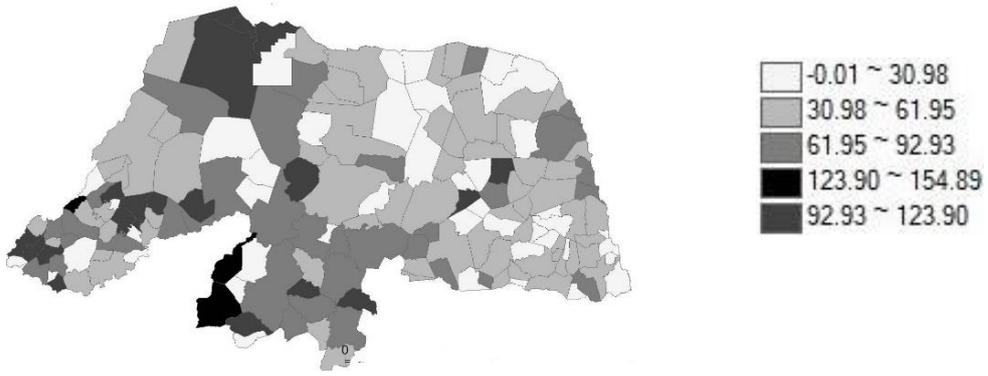


Figura 7

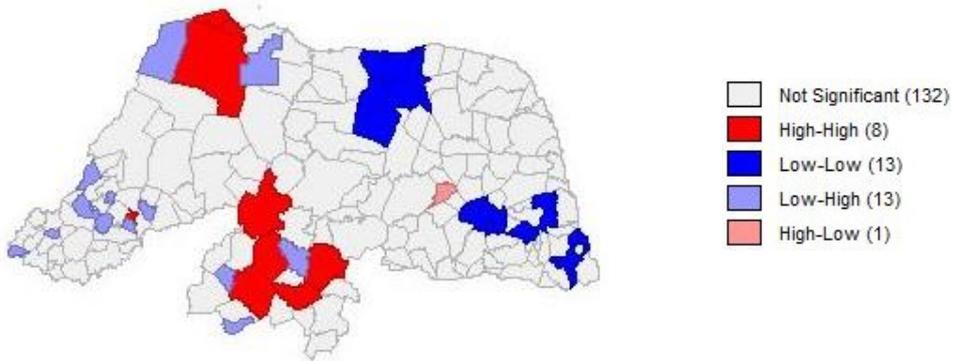


Figura 8

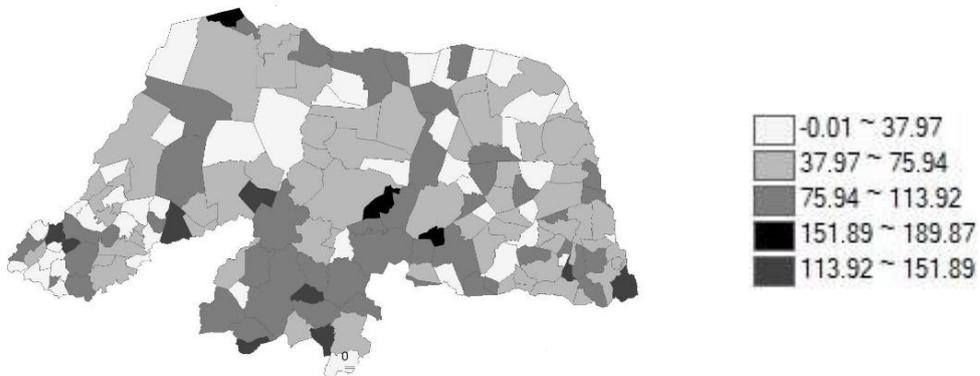


Figura 9

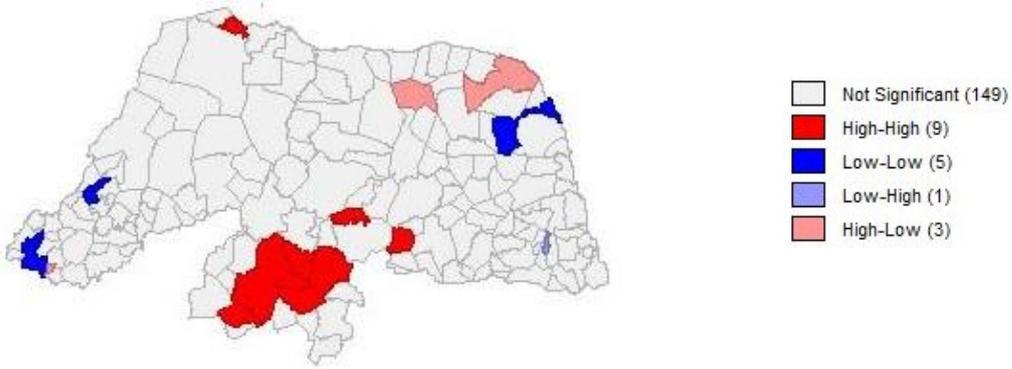


Figura 10

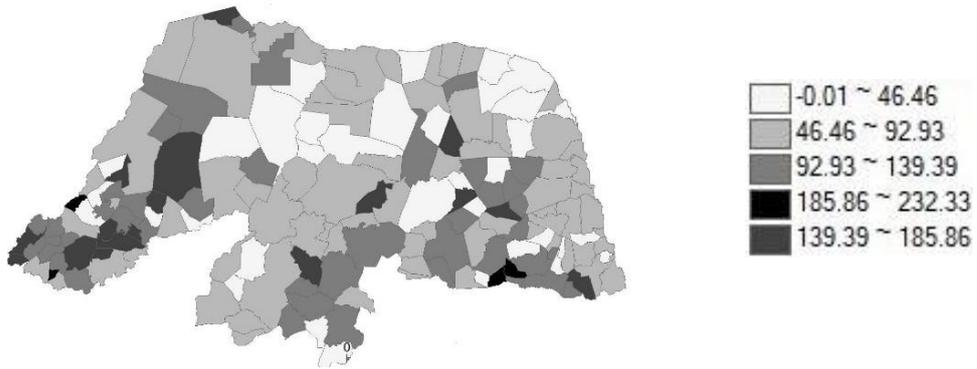


Figura 11

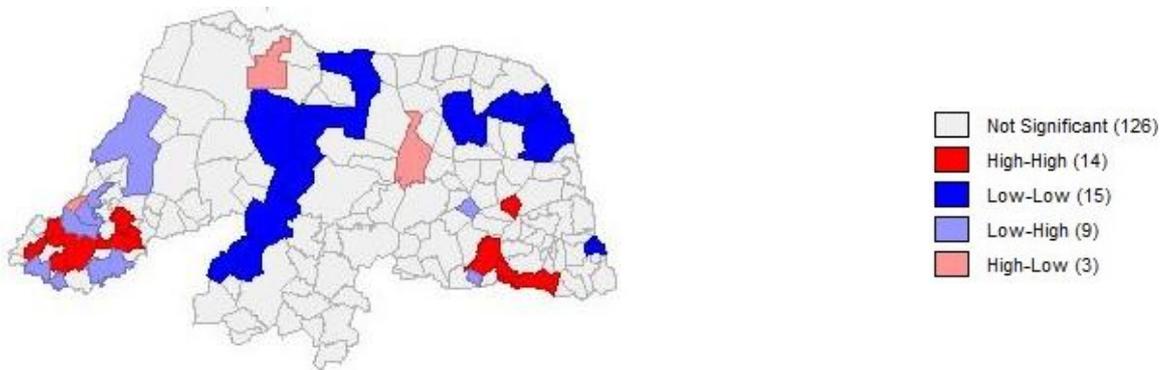


Figura 12

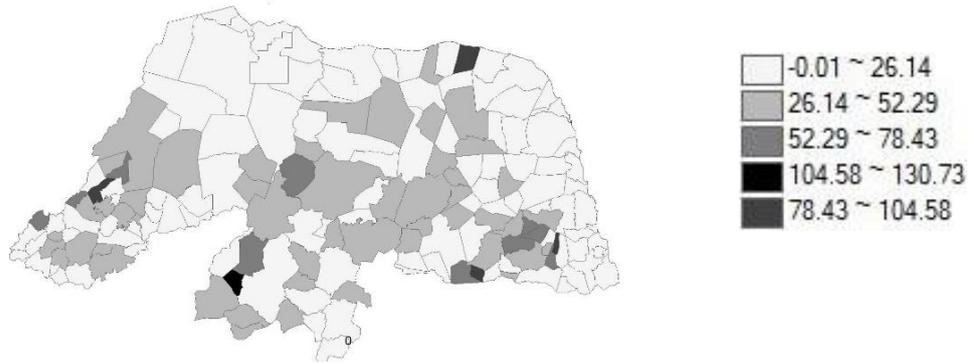


Figura 13

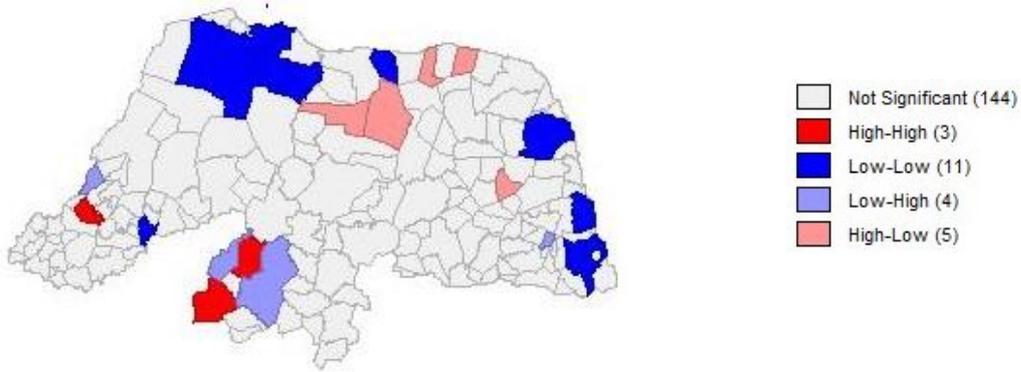


Figura 14

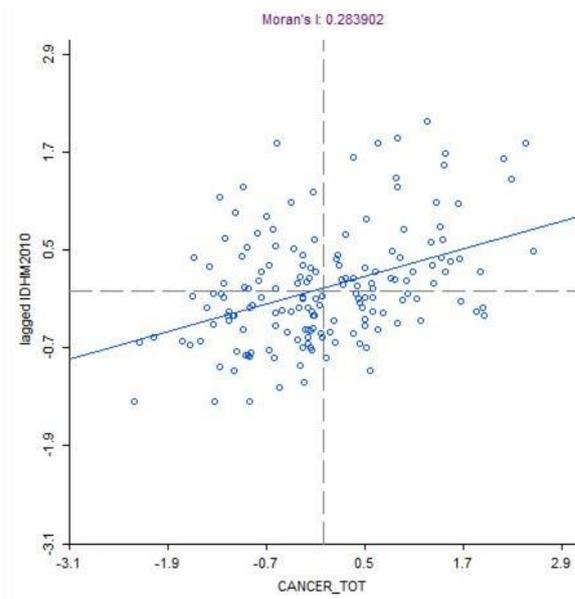


Figura 15.

**Figura 1:** Mapa do Rio Grande do Norte com a marcação de pegmatitos.

**Figura 2:** Mapa do estado do Rio Grande do Norte com dados de óbitos por câncer nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes.

**Figura 3:** Análise LISA univariada (*Cluster map*) de dependência geográfica dos casos de óbitos por câncer total.

**Figura 4:** Análise estatística de dependência espacial de óbitos por câncer total através da análise univariada (Moran Global) com resultado de 0,43.

**Figura 5:** Mapa do estado do Rio Grande do Norte com dados de óbitos por câncer nas vias aéreas nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes.

**Figura 6:** Análise LISA univariada (*Cluster map*) de dependência geográfica dos casos de câncer nas vias aéreas.

**Figura 7:** Mapa do estado do Rio Grande do Norte com dados de óbitos por câncer de mama nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes.

**Figura 8:** Análise LISA univariada (*Cluster map*) de dependência geográfica dos casos de câncer de mama.

**Figura 9:** Mapa do estado do Rio Grande do Norte com dados de óbitos por câncer de medula óssea nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000

**Figura 10:** Análise LISA univariada (*Cluster map*) de dependência geográfica dos casos de câncer de medula óssea.

**Figura 11:** Mapa do estado do Rio Grande do Norte com dados de óbitos por câncer de estômago nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes.

**Figura 12:** Análise LISA univariada (*Cluster map*) de dependência geográfica dos casos de câncer de estômago.

**Figura 13:** Mapa do estado do Rio Grande do Norte com dados de óbitos por câncer

de pele nos municípios no período de 2007 a 2017 por 100.000 habitantes.

**Figura 14:** Análise LISA univariada (*Cluster map*) de dependência geográfica dos casos de câncer de pele.

**Figura 15:** Análise estatística bivariada comparando os casos de óbitos por câncer e IDHM nos municípios do Rio Grande do Norte.