



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
ESPECIALIZAÇÃO EM GEOMEDICINA

ISABELA DEGANI-SCHMIDT

**DESIGN DE MEDIÇÃO DE RADIOATIVIDADE NAS
COLEÇÕES FÓSSEIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
DO SUL, CAMPUS DO VALE (PORTO ALEGRE, RS)**

BELEM-PARÁ
2020

ISABELA DEGANI-SCHMIDT

**DESIGN DE MEDIÇÃO DE RADIOATIVIDADE NAS
COLEÇÕES FÓSSEIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
DO SUL, CAMPUS DO VALE (PORTO ALEGRE, RS)**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação *Lato Sensu* do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Curso de Geomedicina, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Geomedicina.

Área de concentração: Geomedicina

Linha de pesquisa: Geofísica Médica

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Lúcia Costa e Silva

BELÉM-PARÁ
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

D317d Degani-Schmidt, Isabela
Design de medição de radioatividade nas coleções
fósseis da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Campus do Vale (Porto Alegre, RS) / Isabela Degani-
Schmidt. — 2020.
46 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Lúcia Costa E Silva
Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) -
Especialização à distancia em Geomedicina, Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

1. Radioatividade natural. 2. Radônio. 3. Exposição
ocupacional. 4. Coleções fósseis. 5. Geomedicina. I.
Título.

CDD 539.77

ISABELA DEGANI-SCHMIDT

DESIGN DE MEDIÇÃO DE RADIOATIVIDADE NAS
COLEÇÕES FÓSSEIS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, CAMPUS DO
VALE (PORTO ALEGRE, RS)

Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação *Lato Sensu* do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Curso de Geomedicina, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Geomedicina.

Área de concentração: Geomedicina

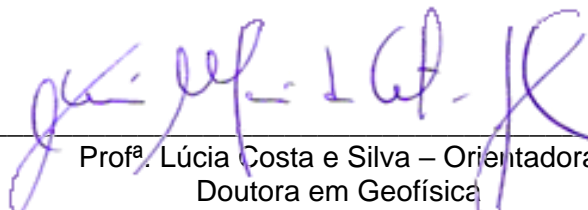
Linha de pesquisa: Geofísica Médica

VERSÃO CORRIGIDA

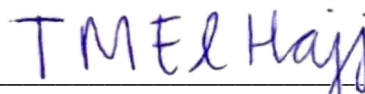
Data da aprovação: 14/09/2020

Conceito: Bom (nota 8,6)

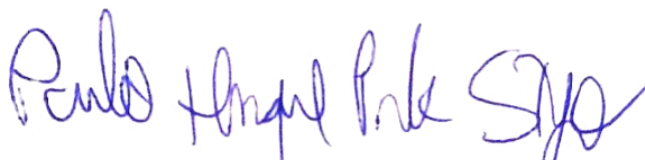
Banca Examinadora:



Prof^a. Lúcia Costa e Silva – Orientadora
Doutora em Geofísica
Universidade Federal do Pará
Serviço Geológico do Brasil/CPRM



Prof^a. Thammiris Mohamad El Hajj – Membro externo
Doutora em Engenharia Mineral
Universidade Federal de Alfnas



Prof. Paulo Henrique Prado Stefano – Membro externo
Mestre em Geociências
Universidade Federal de Sergipe

À minha orientadora de graduação, mestrado e doutorado na UFRGS, Prof^a Emérita Margot Guerra Sommer, à sua orientadora, Prof^a Dr^a Zuleika Carretta Correa da Silva, à memória das colegas Vanessa Gregis Pitana e Margarete Wagner Simas, admiráveis desbravadoras dos instigantes caminhos das Geociências.

AGRADECIMENTOS

Durante o desenvolvimento da especialização em Geomedicina, encontrei pessoas que alegraram mais essa jornada que empreendi em busca de conhecimento. A elas expresso aqui meu profundo agradecimento.

Aos queridos colegas que fizeram das minhas visitas a Belém uma alegria, Beatriz Oliveira, Renata da Costa e Silva Crespim, Pablo de Oliveira Silva, Marcelo Martins Reis, Ana Caroline Soares, Helder Henrique Costa Pinheiro, José Antônio Domingues Teixeira Júnior, agradeço também pelo apoio nos momentos difíceis e estímulo a não desistir.

Aos professores idealizadores e coordenadores do curso, Carolina Souza, Lorena Araújo da Cunha, ao visionário professor Francisco de Assis Matos de Abreu, expresso meu agradecimento e admiração.

Aos professores Joaquim Queiroz, Paulo Roberto Penalva Dos Santos, Bruna Cláudia Meireles Khayat, Raimundo Nonato do Espírito Santo dos Santos, Rafael Aquino, José Henrique Cattanio, Diego Assis das Graças, Raimundo Nonato do Espírito Santo dos Santos, Janaina Massafra, Marly de Melo, Osmar Guedes, Lilian Gualberto, Laís Texeira Bonfim, José Cattanio e José Carvalho agradeço pelo conhecimento compartilhado à distância e nos encontros presenciais.

À bibliotecária do Instituto de Geociências, Sra. Lúcia Imbiriba, pela cuidadosa revisão da formatação deste manuscrito.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Lúcia Costa e Silva, um agradecimento especial por abrir as portas para um caminho instigante e fascinante.

Pelo apoio técnico, agradeço também

- à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN);
- ao Serviço Geológico do Brasil-CPRM pela participação da Prof^a. Lúcia Costa e Silva;
- à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo acesso às coleções paleontológicas;
- ao Prof. Dr. Heitor Francischini pelas fotos do setor de Paleontologia de Vertebrados-UFRGS;
- ao colega Geraldo Magno Souza pelas fotos das técnicas de instalação dos detectores.

“Nada na vida deve ser temido, tudo deve ser compreendido. Agora é o momento de compreender mais para temer menos.”

(CURIE, M. [s.d.])

RESUMO

O radônio é um gás radioativo que exala de rochas e solos e tende a se concentrar em ambientes fechados como minas subterrâneas e imóveis. Seu acúmulo em espaços mal ventilados é causa de preocupação com relação à saúde pública, e os repositórios de coleções geológicas e fósseis são ambientes com risco potencialmente aumentado a seus usuários. As coleções fósseis abrigam um grande número de ossos e rochas de origens diversas em recintos pouco ventilados, geralmente com janelas lacradas, por vezes em subterrâneos. A inalação e ingestão de Rn são alguns dos principais contribuintes para a dose de radiação ionizante recebida pela população e é a segunda causa de câncer das vias respiratórias depois do fumo. Serviços geológicos e museus europeus e norte-americanos alertam sobre os riscos e medidas de mitigação recomendadas com relação a coleções geológicas (rochas e minerais, bem como fósseis) através de edição, disponibilização gratuita e revisões periódicas de manuais que incluem cuidados relativos à radiação em laboratórios, recintos de coleções e de exposição em salas abertas ao público. A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda que programas abrangentes de radônio sejam desenvolvidos no âmbito da saúde pública, de preferência ligados a programas de qualidade do ar. Neste trabalho, é proposto em detalhe um desenho de experimento para quantificação da presença de radônio com detectores passivos nos recintos com as coleções fósseis da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Nesses locais, professores, alunos e funcionários dispõem várias horas em função de atividades acadêmicas e de pesquisa.

Palavras-chave: Radioatividade natural. Radônio. Exposição ocupacional. Coleções fósseis. Geomedicina.

ABSTRACT

Radon is a radioactive gas that exhalates from rocks and soils and tends to concentrate in closed spaces such as underground mines and buildings. Its accumulation in unventilated rooms causes concerns regarding public health, and repositories storing geological and fossil collections present increased risk to the users. The fossil collections house a large number of bones and rocks of different origins in poorly ventilated, sometimes underground rooms, usually with sealed windows. The inhalation and ingestion of Rn are among the main contributors to the dose of ionizing radiation received by the population and is the second cause of cancer in the respiratory tract after tobacco. European and North American geological services and museums warn against the risks and recommend mitigation measures in relation to geological collections (rocks and minerals, as well as fossils) by means of editing, regularly revising and making available manuals with radiation care plans for laboratories, collections and exhibition rooms. The World Health Organization (WHO) recommends the development of comprehensive radon programs for the public health, preferably linked to air quality programs. In this work, a design of experiment is proposed in detail to quantify the presence of radon with passive detectors in the rooms housing the fossil collections of the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS) in the city of Porto Alegre, Rio Grande do Sul State, southern Brazil. In those rooms, professors, students and employees spend several hours due to academic and research activities.

Keywords: Natural radioactivity. Radon. Occupational exposure. Fossil collections. Geomedicine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Séries de decaimento do U-238, U-235 e Th-232, com meia vida de cada isótopo e tipo de emissão produzida	19
Figura 2 – Principais fontes dos radionuclídeos terrestres	20
Figura 3 – Exalação do radônio	21
Figura 4 – Variabilidade da exalação de gás em função da permeabilidade do material	21
Figura 5 – Exalação e emissão radioativa a partir de uma amostra geológica	22
Figura 6 – Rotas diagenéticas de alguns materiais bioclásticos	24
Figura 7 – Amostra de conglomerado fossilífero do Cretáceo da Bacia de São Luís (Maranhão)	25
Figura 8 – Diferentes processos de fossilização atuando sobre um caule oco	25
Figura 9 – Lenhos petrificados	26
Figura 10 – Compressão/impressão foliar de <i>Glossopteris</i> sp. preservada em tonstein	26
Figura 11 – Coleta de fósseis na jazida de Faxinal	27
Figura 12 – Vista aérea do local de estudo	29
Figura 13 – Recintos de paleovertebrados no térreo do prédio 43127, Campus do Vale/UFRGS	30
Figura 14 – Especificações do detector passivo	32
Figura 15 – Laboratório de revelação eletroquímica dos detectores	32
Figura 16 – Exemplos de campos de contagem em detectores após revelação eletroquímica	33
Figura 17 – Montagem dos detectores em suportes metálicos	35
Figura 18 – Detectores instalados com auxílio de suportes metálicos	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teor de urânio (ppm) em minerais e sedimentos	24
Tabela 2 – Disposição dos detectores	34

SUMÁRIO

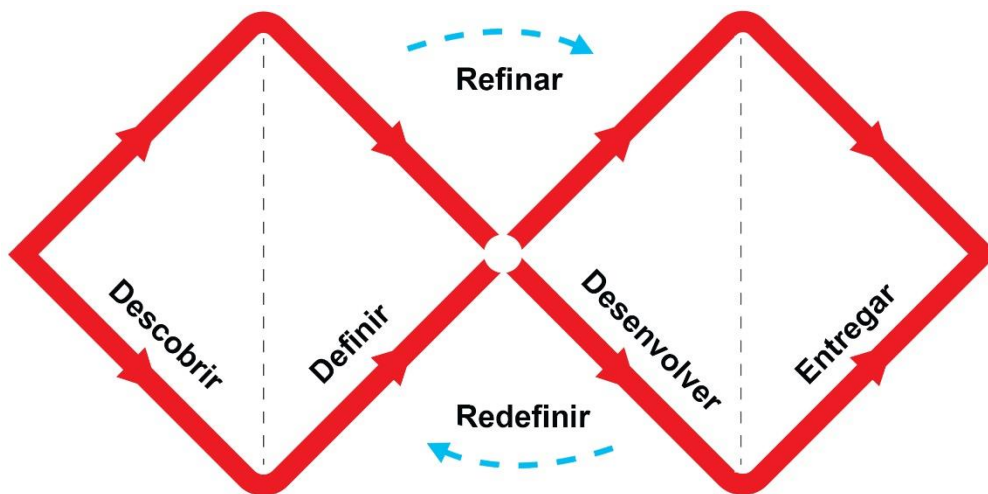
1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	FUNDAMENTOS	18
3.1	Emissões radioativas	18
3.1.1	Emanação, exalação de radônio e emissão radioativa	19
3.2	Fósseis e coleções paleontológicas	22
4	ÁREA A SER INVESTIGADA, MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1	Deteção de radônio	30
4.2	Instalação dos detectores	33
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	REFERÊNCIAS	39
	APÊNDICE A – Planilha de controle dos detectores	44
	APÊNDICE B – Questionário	47

APRESENTAÇÃO

Este trabalho é do âmbito de *Design Thinking*, ou seja, caracteriza-se como planejamento para atendimento de um propósito ou um problema específico.

O modelo Duplo Diamante, proposto pelo United Kingdom Design Council (2007), define o processo de *Design Thinking* em duas grandes fases (dois “diamantes”) subdivididas em 4 etapas essenciais (Fig. I).

Figura I - Diagrama do duplo diamante utilizado em *Design Thinking* para solução de problemas



Fonte: Modificado de United Kingdom Design Council (2019).

No caso do presente projeto, a primeira etapa do 1º Diamante, a descoberta do problema específico surgiu do encontro entre a minha experiência acadêmica no estudo de fósseis e os conhecimentos adquiridos na disciplina de Geofísica Médica, ministrada pela Prof^a. Lúcia Costa e Silva, e consistiu-se da hipótese que coleções de fósseis podem potencialmente aumentar a exposição radioativa, que é desconhecida no Brasil nas condições aqui detalhadas.

A segunda etapa envolveu a definição do que seria necessário investigar para proceder à análise do possível aumento à exposição radioativa de coleções de fósseis, chegando-se à necessidade de aferir a ocorrência de radônio por meio de detectores passivos em recintos com essas coleções.

Na fase do 2º Diamante, já na 3ª etapa de *Design Thinking*, foram estabelecidos todos os passos para implementação da detecção passiva. São eles: estudo dos detectores, escolha dos ambientes e pontos de instalação, forma de distribuição para comparações com radiação de fundo, bases físicas para sua sustentação, duração e

período do ano mais adequado para uma primeira investigação, aplicação de questionários aos usuários, planilha de acompanhamento dos detectores, tendo como prototipagem o experimento de medição de radioatividade em litoteca que está sendo realizado concomitantemente por outro orientando.

O 4º passo envolveu a entrega da presente monografia contendo o planejamento de solução a ser aplicada aos locais reais selecionados e sua defesa perante a banca avaliadora.

Entre o 1º e o 2º diamantes é comum que haja interação para ajuste do projeto às condições reais encontradas *in loco*, não sendo descartadas redefinição de prioridades e refinamento da metodologia estabelecida.

Assim que as medidas de isolamento em decorrência da pandemia de Covid-19 permitirem, os detectores serão solicitados à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e será posto integralmente em prática o resultado do presente *Design Thinking*. Para agilizar o andamento do estudo, este trabalho foi estruturado visando publicação na forma de artigo. Após a implementação do design, serão excluídas as seções explicativas, cuja finalidade foi proporcionar a compreensão por leigos no assunto, bem como facilitar sua aplicação em locais análogos no país, e incorporados os resultados das medições e sua interpretação.

1 INTRODUÇÃO

Entre os radionuclídeos presentes nas rochas, o gás radônio que delas escapa pode adentrar por edificações, bem como os radionuclídeos sólidos derivados de sua desintegração, seja por incorporação ao aerossol, seja por deposição nas superfícies presentes nesses ambientes. O acúmulo de isótopos radioativos, em especial do Rn, em recintos mal ventilados é causa de preocupação com relação à saúde pública, e os repositórios de coleções geológicas e fósseis são ambientes com risco potencialmente aumentado (HOWIE, 1992; OMS, 2016; PRICE; HORAK; FAITHFULL, 2013; WILSON, 1996).

Toda rocha é composta por um ou mais minerais, assim como restos fósseis de plantas, de animais e a rocha matriz onde estão incluídos. Portanto, é inevitável que coleções minerais, de rochas ou fósseis apresentem maior ou menor grau de radioatividade. Além de minerais sabidamente radioativos como uraninita e thorianita, ossos fossilizados, em especial, também podem apresentar importantes quantidades de rádio (que decai para Rn) devido à substituição do cálcio durante o processo diagenético (CARMAN; CARMAN, 1989; ION, 2014).

Aproximadamente 55% da radiação incidente sobre o ser humano origina-se do radônio e de seus produtos de decaimento, mas sua concentração no ar é muito variável em função da composição do solo e das rochas (PETTA; CAMPOS, 2013).

A inalação ou ingestão de Rn são alguns dos principais contribuintes para a dose de radiação ionizante recebida pela população e é a segunda causa de câncer das vias respiratórias depois do fumo, sendo a primeira causa entre não fumantes. As estimativas atuais sobre a proporção de casos de câncer de pulmão atribuíveis ao Rn variam entre 3 e 14% (OMS, 2016). Além das vias respiratórias, Darby, Radford e Whitley (1995), por exemplo, levantaram a possibilidade de incidência aumentada de outros tipos de câncer em indivíduos sob exposição ocupacional, e Groves-Kirkby et al. (2016) sugeriram uma associação com doenças neurodegenerativas, indicando a necessidade de estudos mais detalhados.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) possui o programa de qualidade do ar em interiores IAQ (*Indoor Air Quality*) para cada tipo de ambiente, desde prédios públicos, industriais até os domésticos, e disponibiliza informações ao público na sua página na internet, inclusive como construir imóveis de forma a reduzir os teores internos de radônio e protocolos de medição e mitigação do radônio porventura existente. Em 2015, a EPA lançou o “Plano Nacional de Ação contra o Radônio”, estabelecendo um

limite de concentração de radônio de 150 Bq/m³ em ambientes internos domésticos (EPA, 2020).

O Tratado de 2013 da Comunidade Europeia de Energia Atômica (Euratom) determinou um valor máximo de 300 Bq/m³ para qualquer tipo de ambiente fechado, sendo que cada país-membro deveria estabelecer um limite de referência nacional inferior ou igual a esse valor para tomada de providências de mitigação. Desde 1996, as diretivas do Conselho da Euratom protegem não apenas os trabalhadores dos setores nuclear, industrial e radiológico, como também os da educação e pesquisa (EU, 2020).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda que programas abrangentes de radônio sejam desenvolvidos no âmbito da saúde pública, de preferência ligados a programas de qualidade do ar, e recomenda uma concentração máxima de radônio no ar de 100 Bq/m³, não ultrapassando o limite máximo de 300 Bq/m³ (OMS, 2016; PETTA; CAMPOS, 2013). Entretanto, Gray et al. (2009) demonstraram que, em 85% dos casos de câncer de pulmão atribuídos ao radônio, a exposição deu-se a concentrações inferiores a 100 Bq/m³. Grande parte dos estudos conduzidos no Brasil tomam como referência o limite recomendado pela OMS de 100 Bq/m³.

A despeito dos cuidados que vêm sendo tomados com a matéria, há poucos trabalhos sobre o risco oferecido por coleções geológicas e fósseis. Ion (2014, 2016), por exemplo, mediu a concentração de Rn no Museu Nacional de Geologia da Romênia, que abriga grandes coleções geológicas e paleontológicas. No segundo subsolo, onde não há ventilação mecânica, a concentração de Rn atingiu 121,7 Bq/m³. Nenhuma medida de mitigação foi implementada.

Blanco-Rodríguez et al. (2017) conduziram medição de Rn no Laboratório de Radioatividade Ambiental da Universidade da Coruña na Espanha, o qual analisa diversas amostras para determinação da concentração de radônio. Foi encontrada uma concentração média de 79 Bq/m³ e máxima de 158 Bq/m³. Com o intuito de reduzir a interferência nas análises conduzidas, as medidas de mitigação implementadas (ventilação ativa) reduziram 76% da concentração ambiente de Rn-222.

Em estudo interdisciplinar abordando Museologia e Geociências, Azevedo (2013) e Azevedo e Del Lama (2015) realizaram um levantamento em museus e coleções geológicas brasileiras e verificaram que somente o Museu de Minerais e Rochas Professor Heinz Ebert da Universidade Estadual de São Paulo (UNESP) está dotado com contador *Geiger-Müller* para avaliação periódica de amostras radioativas, sendo que esse equipamento não é adequado para medições de Rn presente no ambiente.

Stefano e Roisenberg (2019) avaliaram a concentração de Rn em alguns recintos de prédios no Campus do Vale da UFGRS. O valor máximo detectado foi de 103 Bq/m³, seguido por 94 Bq/m³. Esses valores foram detectados em recintos subterrâneos sem ventilação (um laboratório subterrâneo do Centro de Microscopia Eletrônica e o almoxarifado do Instituto de Pesquisas Hidráulicas).

É, portanto, aconselhável que as instituições que abrigam coleções geológicas e paleontológicas recorram a especialistas para avaliação das coleções e implementação de medidas de segurança, se necessárias (PRICE; HORAK; FAITHFULL, 2013).

Ainda que alguns estudos sobre o acúmulo de radônio em recintos fechados no Brasil tenham sido publicados, a literatura é carente de pesquisa e de recomendações com respeito às coleções fósseis brasileiras, suscitando a investigação da quantidade de radiação presente nesses ambientes.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente estudo objetiva a elaboração de projeto para quantificação do radônio em recintos de coleções fósseis da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Nesses locais, professores, alunos e funcionários dispendem várias horas em função de atividades acadêmicas e de pesquisa.

2.2 Objetivos específicos

O objetivo geral será desdobrado nos seguintes objetivos específicos:

- a) desenvolvimento conceitual de ocupação com detectores do tipo passivo da área a ser investigada;
- b) proposição de planilha de controle da ocupação de detectores;
- c) proposição de questionário a ser preenchido pelos ocupantes;
- d) construir projeto que auxilie a proposição desse tipo de investigação em locais análogos, dentre os quais no repositório e exposição de minerais e fósseis do Museu do Serviço Geológico do Brasil localizado no Rio de Janeiro.

3 FUNDAMENTOS

3.1 Emissões radioativas

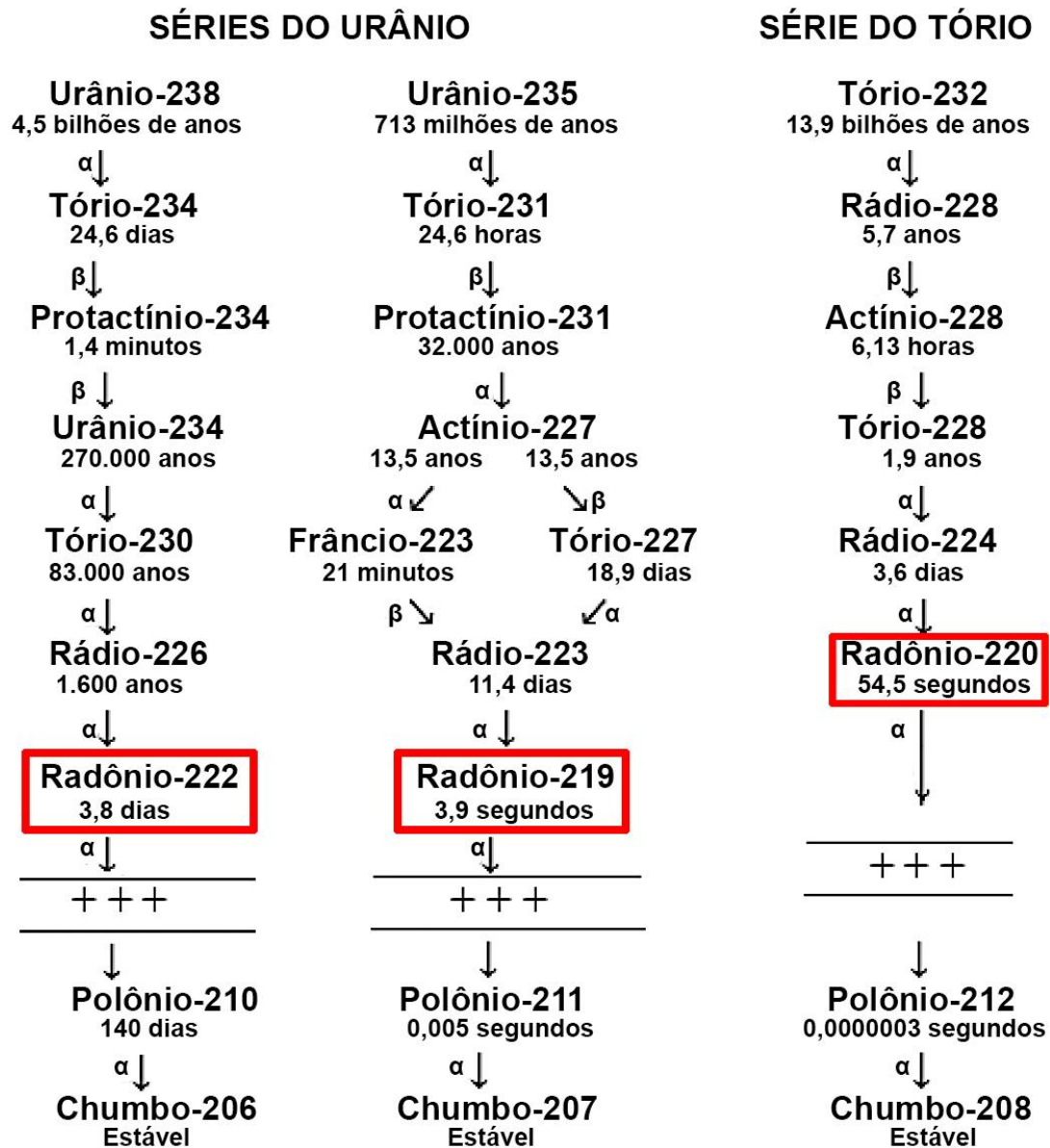
Amostras geológicas podem emitir os seguintes tipos de radiação:

- a) Radiação alfa – partículas de carga positiva (núcleos de hélio emitidos em alta velocidade com a desintegração do núcleo atômico) que alcançam uma distância de alguns poucos centímetros no ar. Externamente ao corpo não representam perigo, mas podem ser muito perigosas por exposição interna se inaladas ou ingeridas, pois são agentes ionizantes extremamente energéticos na destruição de células durante seu percurso dentro do corpo.
- b) Radiação beta – partículas de carga negativa (elétrons ejetados em alta velocidade do núcleo) que alcançam uma distância de dezenas de centímetros no ar. São especialmente danosas aos olhos e pele, mas podem ser bloqueadas por alguns centímetros de madeira, plástico ou vidro.
- c) Radiação gama – radiação eletromagnética. É o tipo mais penetrante de radiação, podendo causar danos a todos os órgãos do corpo após exposição continuada por muitos anos.

Todos os três tipos acima podem ser perigosos, especialmente se partículas de material radioativo forem ingeridas ou inaladas. Especialmente o radônio, que é gás nobre e emissor de radiação alfa e, em seguida, emissor de radiação beta (McDONALD; ELDER; SHELTON, 2005; PRICE; HORAK; FAITHFULL, 2013).

Dentre os elementos radioativos mais comuns contidos em amostras geológicas estão o urânio (U) e o tório (Th). Seu decaimento espontâneo gera uma série de elementos-filhos que incluem isótopos do radônio (Fig. 1). Os mais relevantes são os de número de massa 220 e 222 (Rn-220 e Rn-222). A importância do Rn-222 reside em sua maior meia-vida, isto é, 3,8 dias para que o número inicial de núcleos radioativos de uma amostra, num determinado estado energético, se reduza à metade (TAUHATA et al., 2014). A importância do Rn-220 deve-se ao fato de que as rochas brasileiras são enriquecidas em seu elemento-pai, o tório e, conseqüentemente, poderá ser exalado em grande abundância (EL HAJJ et al., 2017). O radônio formado pela família U-235 (Rn-219) tem tanto meia vida muito curta como também ocorre em quantidades diminutas e, por isso, não representa risco de acúmulo em ambientes fechados em comparação aos outros isótopos.

Figura 1 – Séries de decaimento do U-238, U-235 e Th-232, com meia vida de cada isótopo e tipo de emissão produzida. Em destaque, os três radioisótopos do radônio



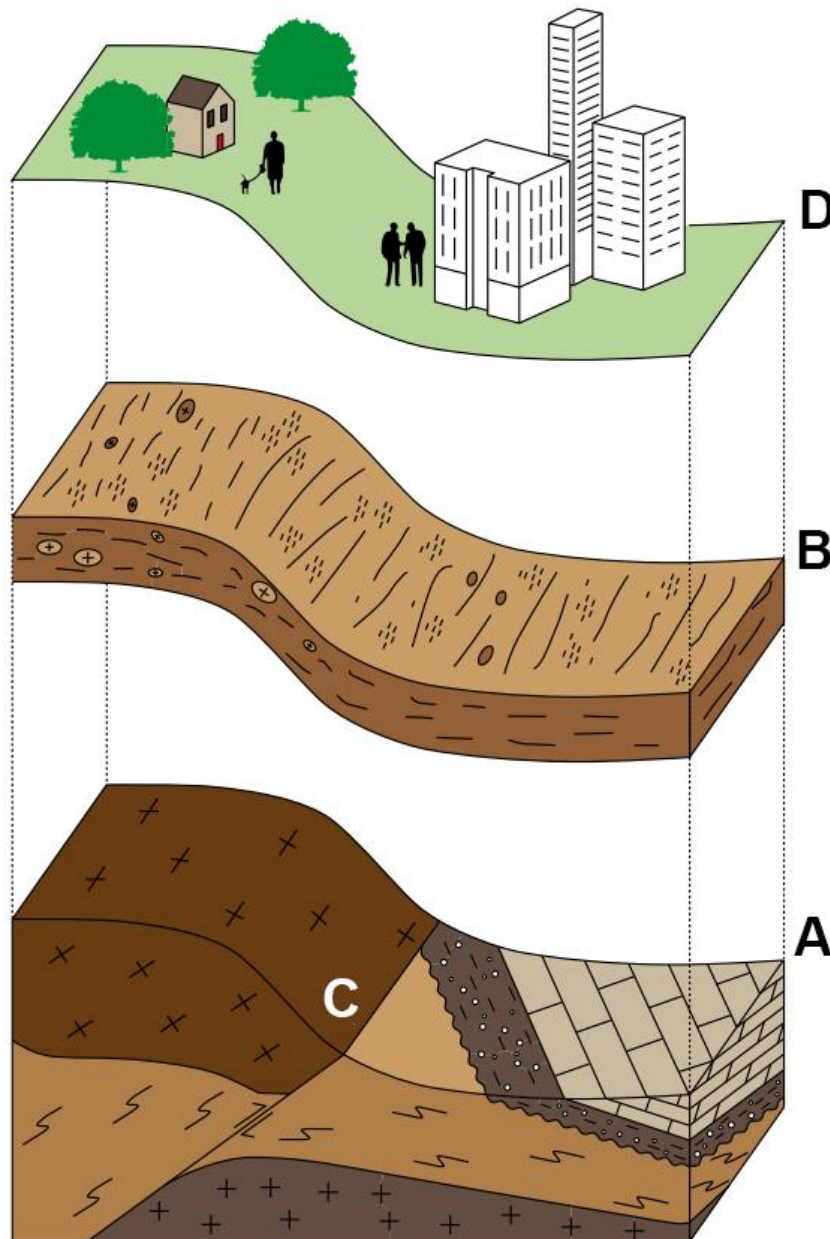
Fonte: Modificado de Cardoso (2003) e Silva (2019).

3.1.1 Emissão, exalação de radônio e emissão radioativa

As principais fontes dos radionuclídeos terrestres são o embasamento, o solo, falhas/fraturas tectônicas e materiais de construção (CINELLI; DE CORT; TOFFELSEN, 2019) (Fig. 2). A partir do solo, rocha ou material de construção, o radônio emana do grão mineral, sofre transporte por difusão ou convecção pelos poros do material até que é exalado para o ambiente (Fig. 3). A exalação e a emissão dependem do grau de permeabilidade do material. Materiais de maior permeabilidade apresentam maiores taxas de emissão e exalação (Fig. 4) (EL HAJJ, 2017).

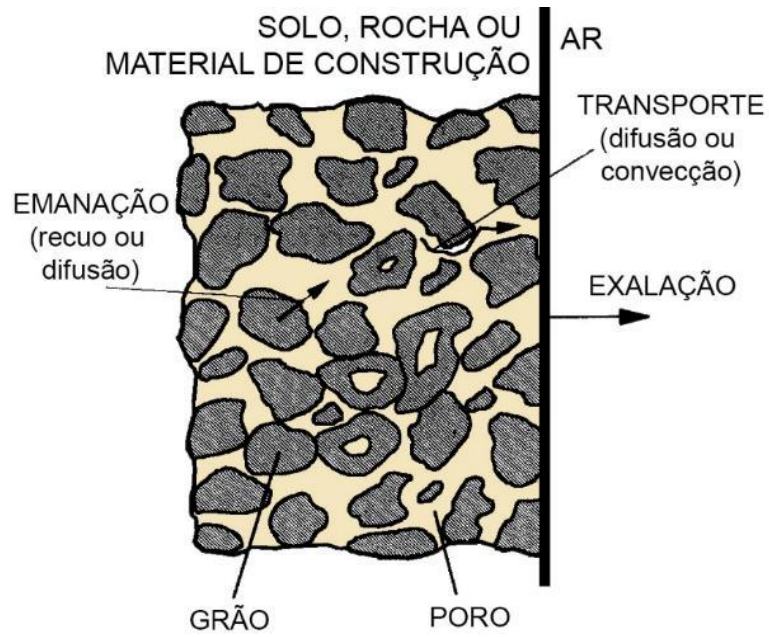
Uma amostra geológica pode, ao mesmo tempo, exalar gás radônio e gerar emissões radioativas em virtude do decaimento natural do próprio radônio e dos demais radionuclídeos presentes (Fig. 1) que tipicamente compõem os minerais em maior ou menor quantidade (partes por milhão) (Fig. 5). A exalação do gás equivale ao seu fluxo mássico, ou seja, a quantidade de gás que sai da rocha, e as emissões radioativas consistem em liberação de energia sob a forma de emissões corpusculares (partículas alfa e beta) e radiações eletromagnéticas (raios gama) (EL HAJJ, 2017; MISSIMER et al., 2019).

Figura 2 – Principais fontes dos radionuclídeos terrestres: A) embasamento; B) solo; C) falhas/fraturas tectônicas; D) materiais de construção



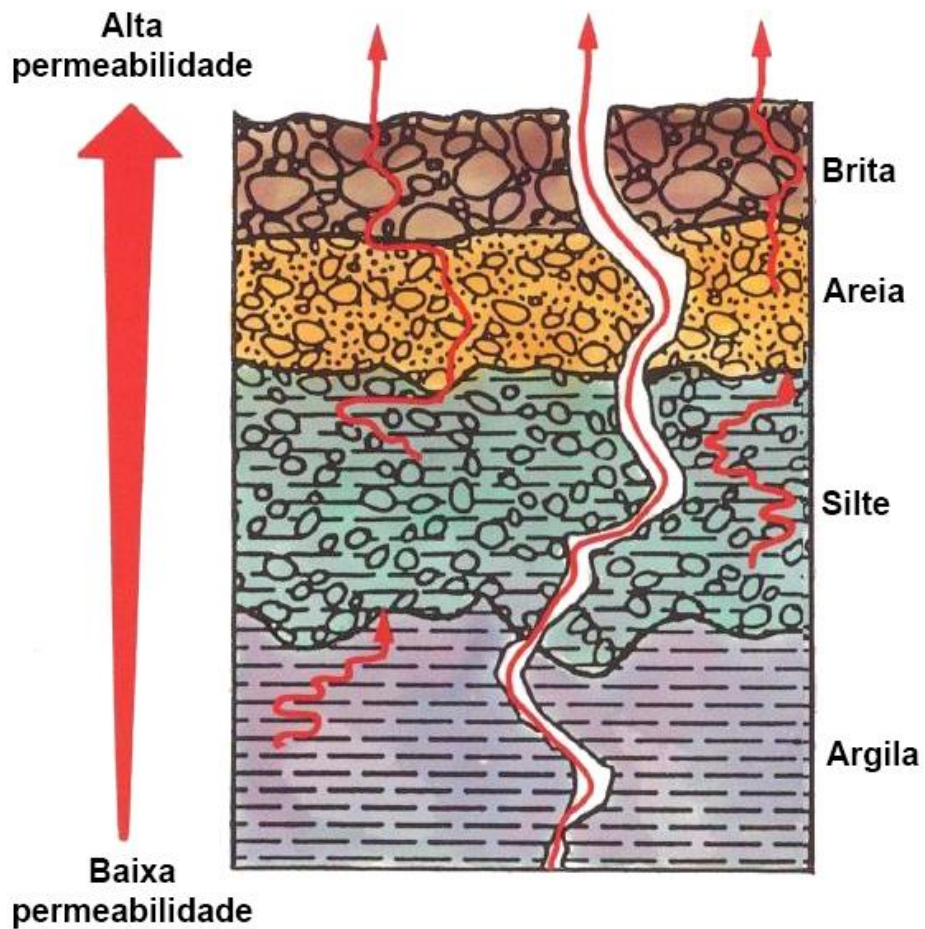
Fonte: Cinelli, De Cort e Toffelsen (2019).

Figura 3 – Exalação do radônio



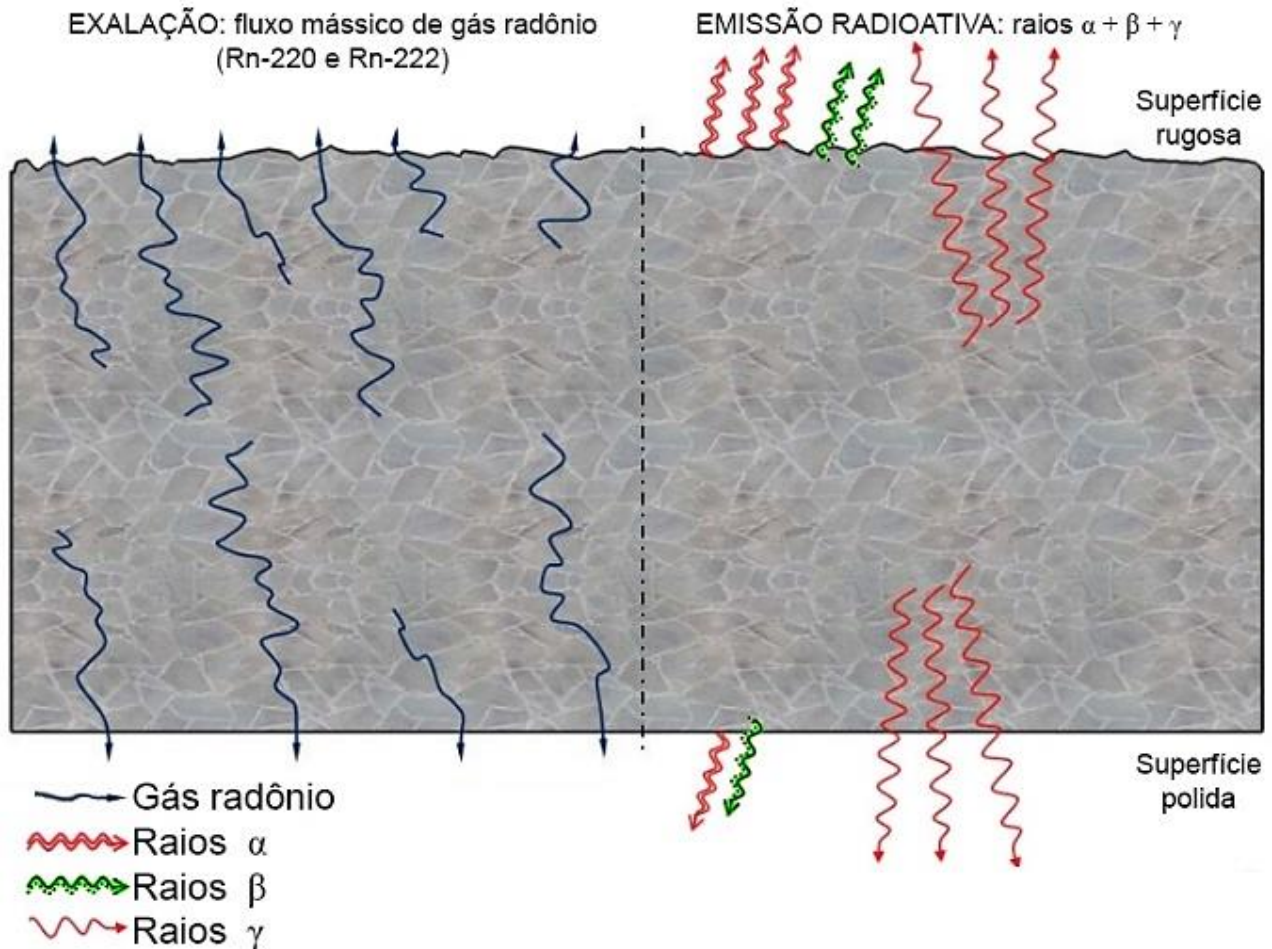
Fonte: Modificado de Porstendörfer (1994).

Figura 4 – Variabilidade da exalação de gás em função da permeabilidade do material



Fonte: USGS (1992 apud EL HAJJ, 2017).

Figura 5 – Exalação e emissão radioativa a partir de uma amostra geológica



Fonte: Modificado de El Hajj (2017).

3.2 Fósseis e coleções paleontológicas

Por meio de processos diagenéticos, é possível que fósseis de vertebrados (ossos) sejam altamente radioativos por estarem impregnados por elementos como rádio e urânio (CARMAN; CARMAN, 1989). Fósseis compostos por hidroxiapatita, carbonato-apatita ou fluoroapatita (ossos, conchas) podem ser armazenados em coleções após sua total remoção mecânica da matriz rochosa por parte dos pesquisadores ou ainda incluído na matriz de rocha sedimentar. Essa rocha matriz tem sua própria constituição, com minerais de origens variadas a depender da rocha-fonte que erodiu e se depositou soterrando os restos biológicos (Tabela 1).

Assim como pode ocorrer a substituição mineral em ossos e conchas, a matéria orgânica vegetal também pode ser totalmente substituída por minerais. Exemplos de substituição mineral (Fig. 6 e 7) incluem matrizes calcárias com conchas completamente

silicificadas, ou conchas piritizadas que podem estar contidas em argilitos ricos em matéria orgânica (MEDEIROS, 2010).

Fósseis paleobotânicos podem apresentar diversos tipos de preservação (Fig. 8). Na preservação autigênica remanescem moldes externos, moldes internos e contramoldes compostos por sedimento consolidado após vários estágios de cimentação e subsequente degradação de restos vegetais tridimensionais. Na compressão carbonificada e impressão, a matéria orgânica vegetal é preservada por soterramento em ambiente anóxico e contida em matriz de rocha sedimentar; havendo lixiviação da matéria orgânica, remanesce a impressão do órgão vegetal na rocha matriz. Na petrificação/permineralização, comum em caules lenhosos, conhecidos como madeira petrificada (Fig. 9), os tecidos vegetais são permeados por águas saturadas de minerais e subsequentemente parcial ou totalmente substituídos pelos compostos minerais (IANNUZZI, 2005).

Um exemplo de matriz sedimentar contendo minerais radioativos é o *tonstein*, leito de argilito litificado originado a partir de deposição de cinza vulcânica. Segundo Simas (2008), o *tonstein* intercalado em camada de carvão indica um episódio de sedimentação de tefra durante a deposição da sequência portadora de carvão. Análises mineralógicas e petrográficas do *tonstein* da jazida de Faxinal, 100 km a oeste de Porto Alegre, RS (sul da Bacia do Paraná, Permiano Inferior), determinaram que se trata de uma rocha composta predominantemente por caulinita autigênica, contendo, entre outros minerais piroclásticos, zircão, apatita, alanita e pseudomorfos de sanidina (SIMAS, 2008). Esses minerais possuem concentração de urânio significativa como pode ser observado na tabela 1. A coleção paleobotânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul abriga centenas de amostras de fósseis incluídos no *tonstein* (Fig. 10).

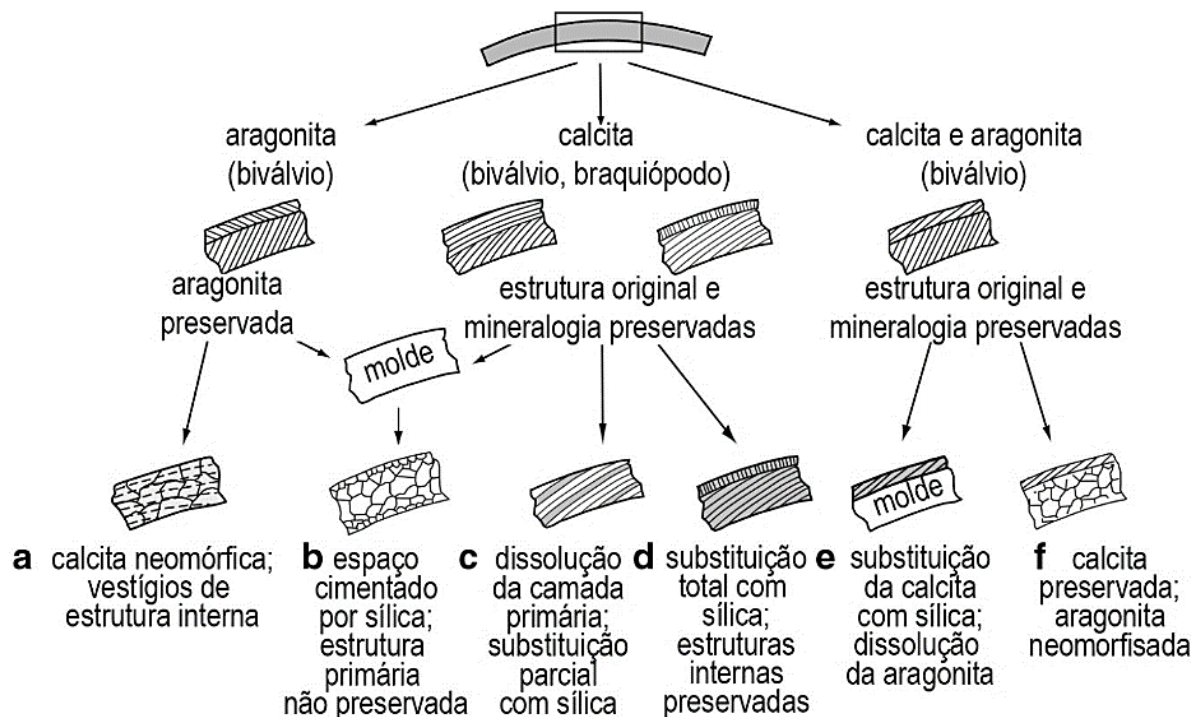
O *tonstein* da jazida de Faxinal foi extensivamente estudado tanto por seu potencial geocronológico quanto paleontológico (ADAMI-RODRIGUES et al., 2004; BOARDMAN et al., 2012; DEGANI-SCHMIDT, 2016; JASPER et al., 2011; GRIFFIS et al., 2018; GUERRA-SOMMER, 1988; PINHEIRO, 2011; SIMAS et al., 2012), pois preservou um retrato instantâneo da flora de *Glossopteris* que cobriu boa parte do supercontinente Gondwana no final do Paleozoico. A idade radiométrica mais recente é de 285,42 \pm 1,2/-2,1 Ma, estabelecida por espectrometria de massa U-Pb por Griffis et al., 2018. O estudo dessas amostras ao longo dos anos envolveu coletas em jazida de carvão a céu aberto (Fig. 11), raspagem, trituração, moagem, quebra, seccionamento, dissolução em ácido em capela de fluxo laminar, fotografia e observação sob lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LED.

Tabela 1 – Teor de urânio (ppm) em minerais e sedimentos. Destacados com sublinhado alguns dos minerais encontrados no *tonstein* da jazida de Faxinal

Mineral	Concentração de urânio	Tipo de rocha associada
Quartzo	1,7	Ígnea
Feldspatos	2,7	Ígnea
Biotita	8,1	Ígnea
Muscovita	2,8	Ígnea
Piroxênio	0,1 – 50	Ígnea
<u>Alanita</u>	<u>30 – 1000</u>	Ígnea
<u>Apatita</u>	<u>10 – 100</u>	Ígnea
Epídoto	20 – 200	Ígnea
Granada	6 – 30	Ígnea
Titanita	10 – 700	Ígnea
Xenotima	300 – 4x10 ⁴	Ígnea
<u>Zircão</u>	<u>100 – 6000</u>	Ígnea
Hornblenda	0,2 – 60	Ígnea
Magnetita e opacos	1 – 30	Ígnea
Monazita	500 – 3000	Ígnea
Arenito	0,4 – 3,2	Sedimentar
Areia	3,0 – 5,0	Sedimentar
Argila	2,0 – 3,0	Sedimentar
Argila com material orgânico	80	Sedimentar

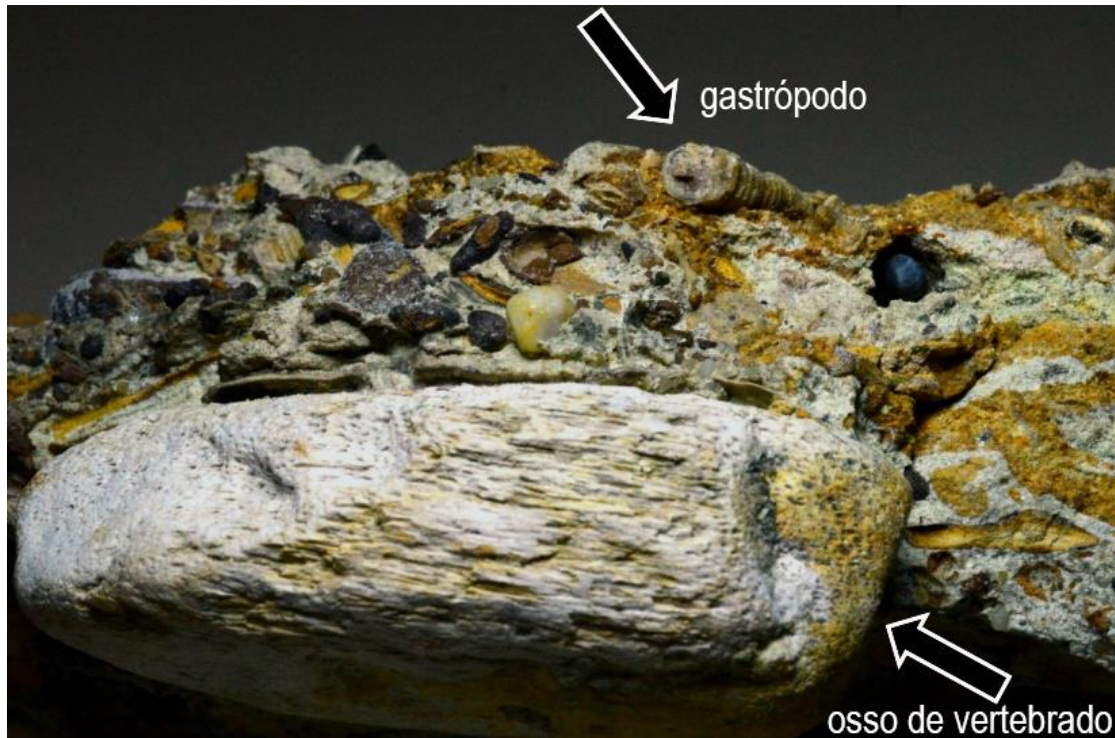
Fonte: Pertlik et al. (1974), Bonotto e Silveira (2006) apud Silva (2019).

Figura 6 – Rotas diagenéticas de alguns materiais bioclásticos



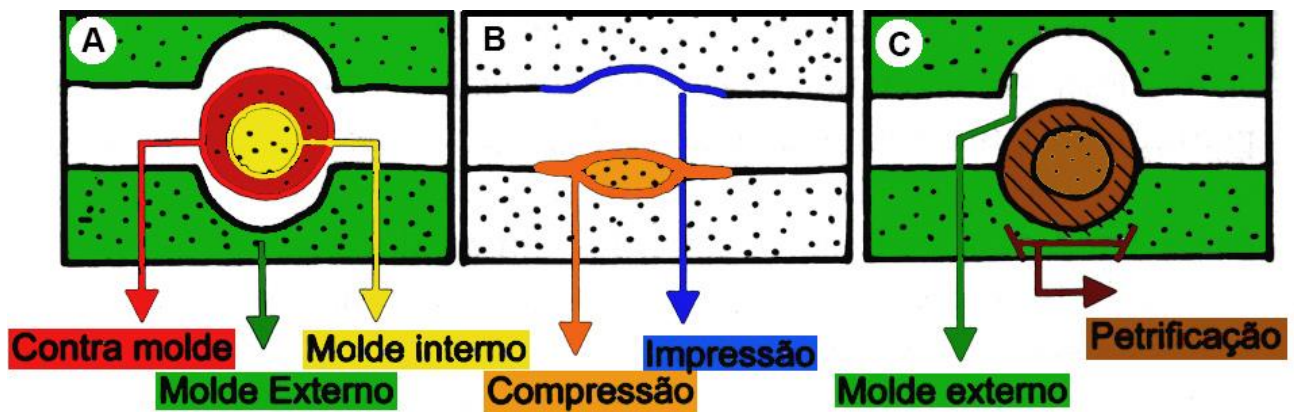
Fonte: Modificado de Butts e Briggs (2011).

Figura 7 – Amostra de conglomerado fossilífero do Cretáceo da Bacia de São Luís (Maranhão) apresentando bioclastos com substituição mineral parcial ou total



Fonte: Modificado de Mendes (2017).

Figura 8 – Diferentes processos de fossilização atuando sobre um caule oco. A) Substituição dos tecidos vegetais por sedimento cuja litificação dá origem a 3 tipos de réplicas: molde interno, molde externo e contramolde; B) caule comprimido incluído na rocha com preservação parcial da matéria orgânica. Ao partir-se a rocha em seu plano de acamamento obtém-se uma compressão e sua impressão; C) preenchimento celular por minerais leva à permineralização e petrificação

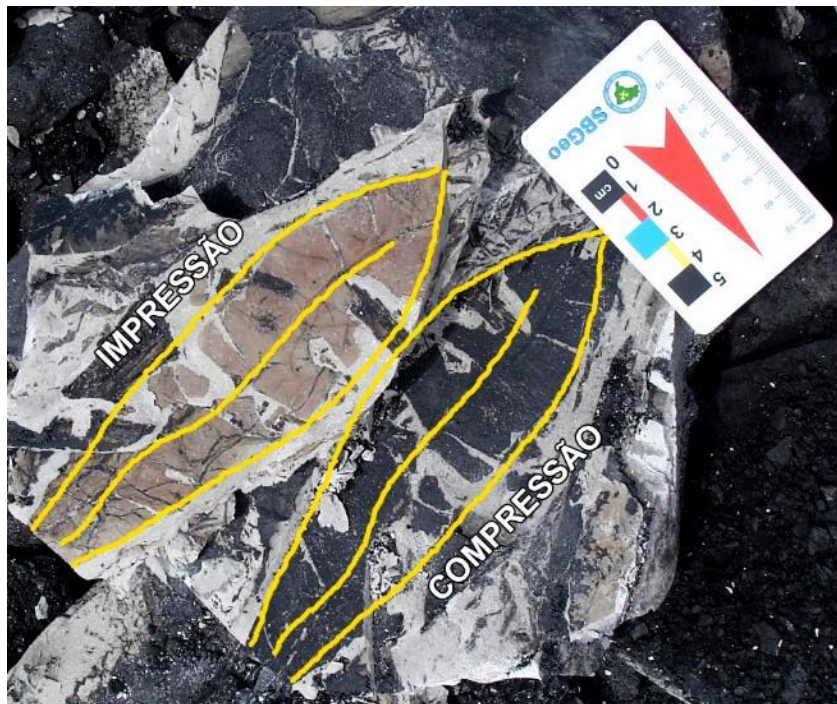


Fonte: Modificado de Iannuzzi (2005).

Figura 9 – Lenhos petrificados



Fonte: Da própria autora.

Figura 10 – Compressão/impressão foliar de *Glossopteris* sp. preservada em tonstein

Fonte: Da própria autora.

Figura 11 – Coleta de fósseis na jazida de Faxinal. A) Retroescavadeira fragmentando o *tonstein* para facilitar a coleta de fósseis; B) identificação de fósseis



Fonte: (A) Da própria autora; (B) Prof. Dr. André Jasper (UNIVATES, Lajeado-RS, 2009).

Assim sendo, as coleções fósseis abrigam um grande número de ossos e rochas de origens diversas em recintos pouco ventilados, geralmente climatizados com uso de ar condicionado e janelas lacradas, por vezes localizados em subterrâneos.

Somente no final do século XX, pesquisadores começaram a se preocupar efetivamente com os riscos à saúde decorrentes da chamada radioatividade natural, ou seja, a radioatividade presente no ambiente terrestre, em especial nas rochas. Tornou-se importante determinar quais unidades estratigráficas contêm urânio e verificar se as coleções abrigam amostras provenientes de tais unidades; também é preciso estar ciente de que folhelhos negros emitem radônio, depósitos de fosfato podem incluir minerais que produzem radônio e madeiras petrificadas, geralmente encontradas em arenitos, podem ser radioativas (McDONALD; ELDER; SHELTON, 2005).

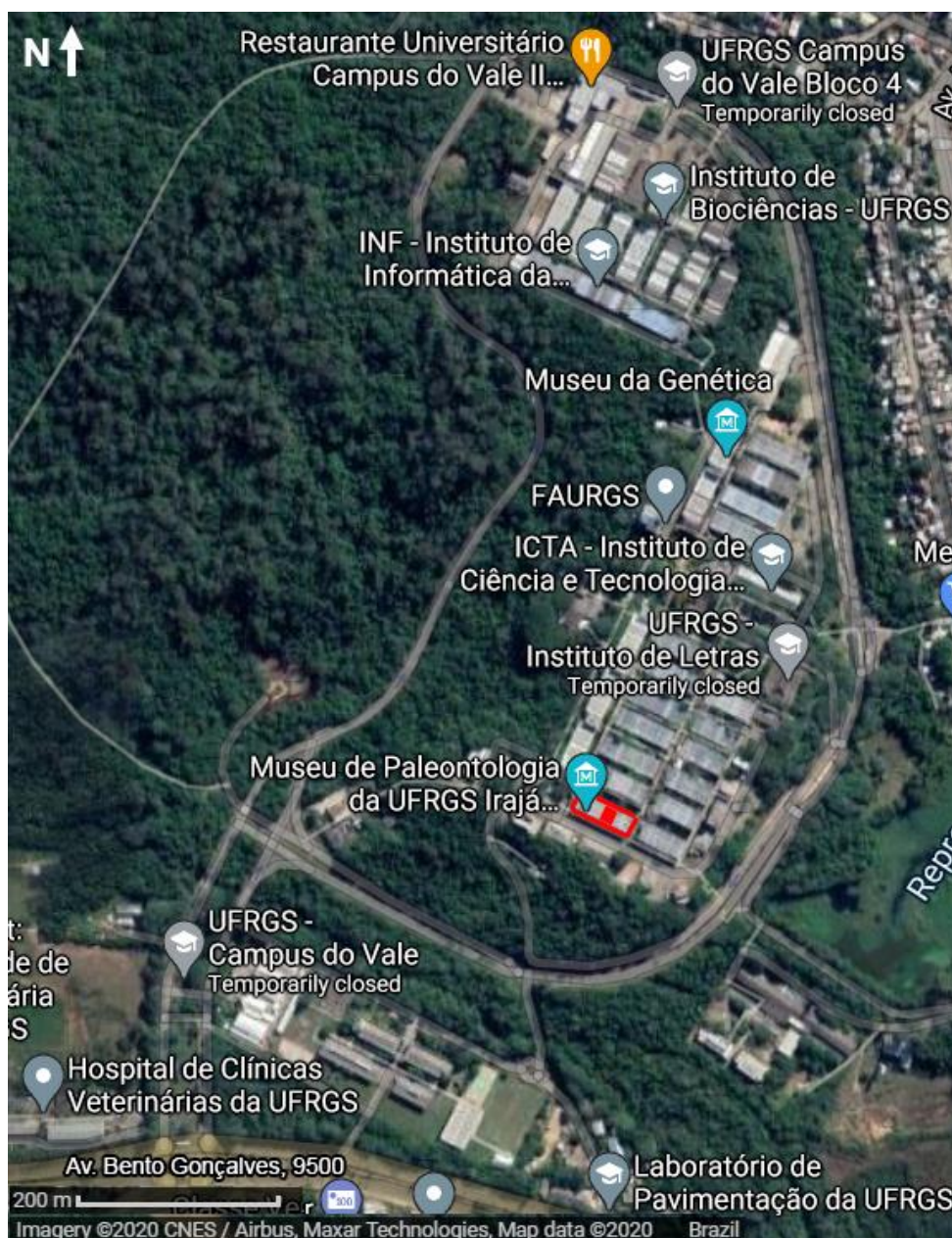
Manuais disponibilizados gratuitamente incluem cuidados relativos à radiação em laboratórios, recintos de coleções e de exposição em salas abertas ao público, entre outras situações (*e.g.* McDONALD; ELDER; SHELTON, 2005), pois toda coleção geológica ou paleontológica, portanto, abriga amostras ou espécimes que potencialmente podem exalar radônio e emitir radiação em maior ou menor grau. Quanto maior a coleção, maior o perigo potencial.

Como em qualquer atividade profissional, é, portanto, importante que estudantes, geólogos, paleontólogos, museólogos e curadores de coleções estejam bem informados sobre os riscos à segurança e à saúde que o trabalho continuado em laboratório, depósitos e coleções pode oferecer (THE PALEONTOLOGY PORTAL, 2020).

4 ÁREA A SER INVESTIGADA, MATERIAL E MÉTODOS

Os locais a serem investigados situam-se no prédio 43127 do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da UFRGS no Campus do Vale (bairro Agronomia, município de Porto Alegre) (Fig. 12) e consistem em quatro recintos das coleções fósseis e o Museu de Paleontologia Irajá Damiani Pinto, estando o museu e dois recintos (paleovertebrados) localizados no andar térreo (Fig. 13) e outros dois no 1º andar (paleobotânica). O total de área amostrada perfaz aproximadamente 60 m² no pavimento térreo e 40 m² no pavimento superior.

Figura 12 – Vista aérea do local de estudo (em vermelho)



Fonte: Google Maps (2020).

Figura 13 – Recintos de paleovertebrados no térreo. A) Laboratório de preparação de amostras; B) repositório



Fonte: Prof. Dr. Heitor Francischini (Departamento de Paleontologia e Estratigrafia, IGeo/UFRGS, 2020).

4.1 Detecção de radônio

O radônio é um gás nobre inodoro e incolor cujos isótopos Rn-220 e Rn-222 possuem meias-vidas curtas (3,8 dias e 55,8 segundos respectivamente) e não há técnicas químicas ou de espectrometria de massa suficientemente sensíveis para sua detecção. Portanto, ele deve ser medido com base nas suas propriedades radioativas ou nas de seus produtos de decaimento. A maioria das técnicas usa a detecção das partículas alfa emitidas pelo radônio, Po-218, Po-214 ou uma combinação desses, ou a detecção de raios gama emitidos no decaimento do Pb-214 e Bi-214 (ISHIMORI et al., 2013).

As técnicas mais usadas de dosagem de radônio são a ativa e a passiva, assim classificadas de acordo com seus requerimentos de fontes de energia. Detectores ativos requerem energia elétrica para ativar bombeamento, detecção ou para criar um potencial elétrico para incrementar a eficiência de coleta do ar por parte do detector. Detectores passivos dispensam fontes de energia, e dependem da difusão do radônio através de um filtro para dentro de uma câmara de detecção (ISHIMORI et al., 2013).

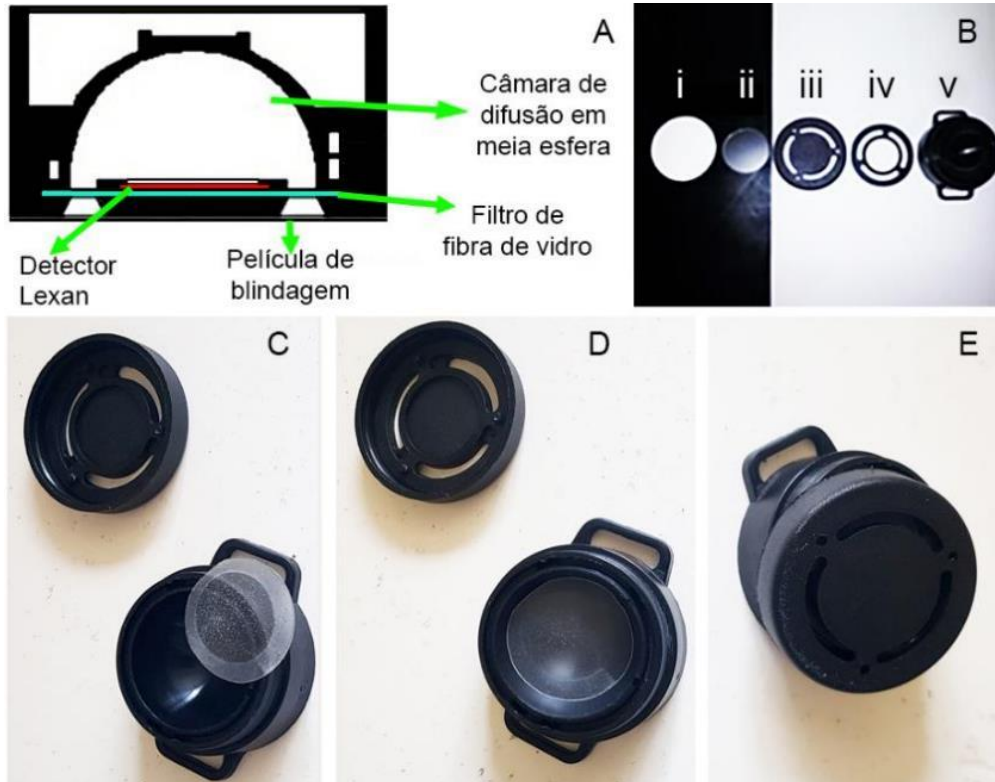
Para a medição instantânea da radiação em um intervalo de tempo de horas, utiliza-se a detecção ativa com aparelhos de leitura direta, tais como os detectores a gás para medição da taxa de dose, os cintilômetros, etc. Com a finalidade de avaliar a exposição ocupacional, registra-se a radiação acumulada em um período de tempo pré-estabelecido (dias a meses) com detectores passivos (detectores de traço), que registram os eventos e podem ser processados posteriormente (TAUHATA et al., 2014).

O presente projeto de investigação prevê o uso de detectores passivos do tipo SSNTD (*Solid State Nuclear Track Detectors*/Detectores Sólidos de Traços Nucleares) com película de detecção do tipo LEXAN, fornecidos pelo Instituto de Radiometria e Dosimetria (IRD) da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). O “sólido” refere-se ao material utilizado para detecção, no caso a película de policarbonato LEXAN (OLIVEIRA, 2017).

Os principais componentes do detector (Fig. 14) e suas finalidades consistem na câmara de difusão de fibra de carbono, que proporciona uma atmosfera interna de volume conhecido; no filtro de fibra de vidro para retenção do aerossol e na película LEXAN, cujo lado sensível mais opaco e mais fino para detecção das partículas alfa fica voltado para o interior da câmara (OLIVEIRA, 2017).

À medida em que o gás penetra na câmara, as partículas alfa atingem a película deixando marcas com dimensões da ordem de 50 – 100 Å. Após o tempo pré-determinado de exposição, as películas são submetidas à revelação eletroquímica (Fig. 15), que consiste em banho em solução condutora com eletrodos para ampliar o tamanho dos traços que se tornam, então, visíveis ao microscópio óptico comum (Fig. 16) e são submetidos a contagem computadorizada (EL HAJJ, 2017; ISHIMORI et al., 2013; OLIVEIRA, 2017; STEFANO; ROISENBERG, 2019).

Figura 14 – Especificações do detector passivo. A) Diagrama esquemático; B) (i) filtro; (ii) película detectora; (iii) tampa da câmara; (iv) grade de contenção do filtro; (v) câmara de difusão com interior em meia-esfera; C) câmara circular em fibra de carbono com a câmara de difusão em meia esfera exposta; D) película LEXAN posicionada sobre a câmara de difusão; E) câmara coberta pela tampa



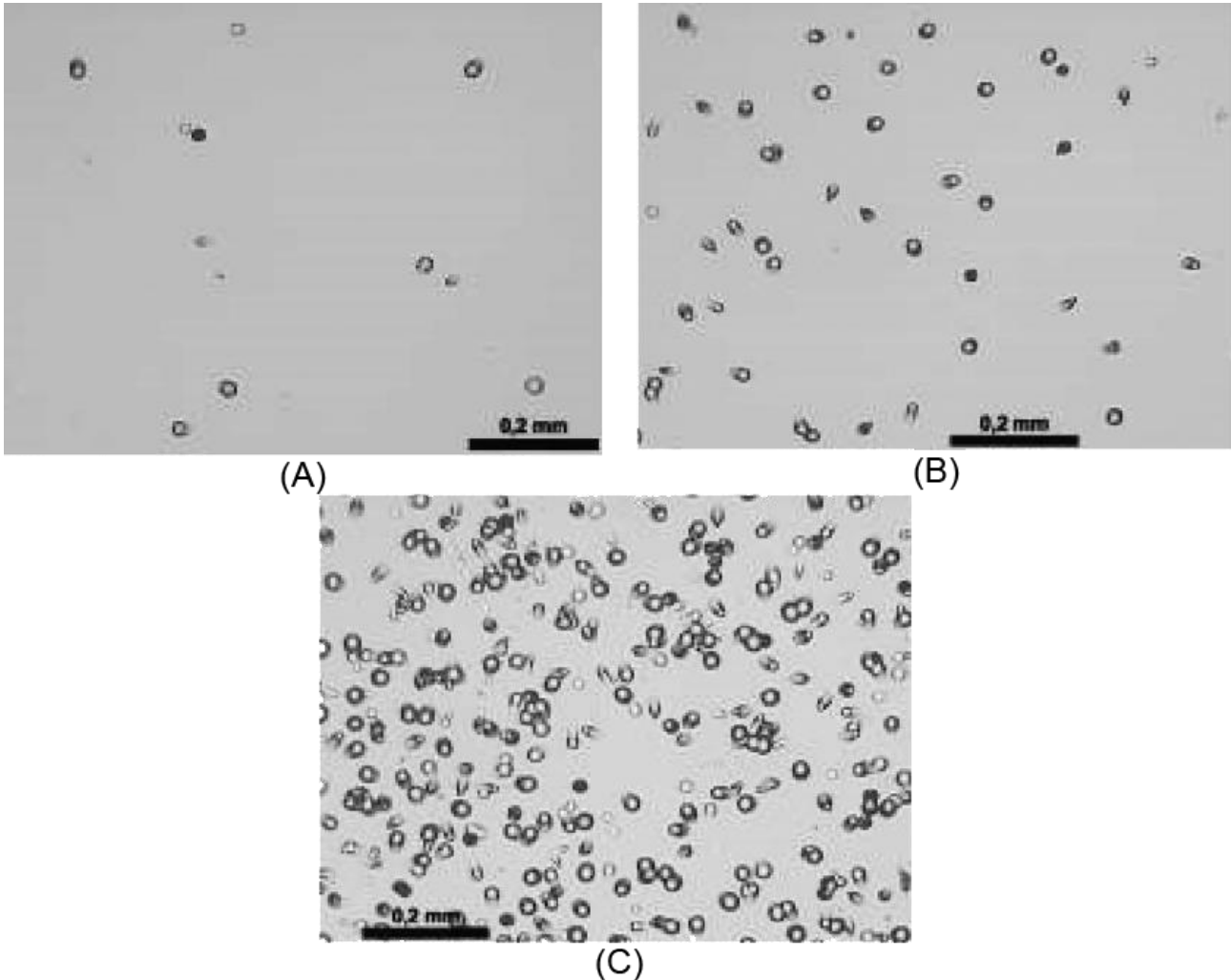
Fonte: Modificado de Oliveira (2017) e Prof^a. Lúcia Costa e Silva (Serviço Geológico do Brasil-CPRM e UFPA, 2020).

Figura 15 – Laboratório de revelação eletroquímica dos detectores. A) Bancada com as cubas onde as películas recebem o banho em solução condutora; B) embalagem metalizada para transporte dos detectores



Fonte: Prof^a. Lúcia Costa e Silva (Serviço Geológico do Brasil-CPRM e UFPA, 2020).

Figura 16 – Exemplos de campos de contagem em detectores após revelação eletroquímica. A) campo de contagem de uma mina de carvão; B) um campo de contagem de uma mina de fluorita; C) um campo de contagem de uma mina de fluorita de um detector saturado



Fonte: Santos (2008).

4.2 Instalação dos detectores

No total, deverão ser utilizados 50 detectores que serão instalados preferencialmente em locais fechados, permanecendo por 90 dias consecutivos e distribuídos da seguinte maneira: 11 detectores para dosagem de radiação de fundo (3 durante o deslocamento dos aparelhos na ida e na volta, 4 do lado de fora do prédio para dosagem da radiação de fundo do terreno, 4 em local branco para detectar a radiação de fundo do prédio). Os demais 39 detectores realizarão a dosagem de radônio a ser considerada no estudo, sendo distribuídos no museu, nos repositórios de fósseis e laboratórios de preparação a serem dispostos na altura de trabalho (Tabela 2).

Tabela 2 – Disposição dos detectores

UNIDADES	LOCALIZAÇÃO	FINALIDADE
1	Transporte IDA (aéreo) em embalagem metalizada	BG no deslocamento dos aparelhos
1	Transporte VOLTA (aéreo) em embalagem metalizada	BG no deslocamento
1	Transporte VOLTA (aéreo) em embalagem metalizada – FECHADO com a película de blindagem	BG no deslocamento
4	Terreno onde o prédio está localizado	BG do terreno
4	Local branco (2 salas em cada pavimento que não contenham amostras)	BG do prédio
3	Museu	Dosagem de radônio a ser considerada no estudo
36	Repositórios de fósseis e laboratórios de preparação a serem dispostos na altura de trabalho	Dosagem de radônio a ser considerada no estudo

BG = *background* – dosagem da radiação de fundo

Fonte: Da própria autora.

Os detectores serão instalados dentro das salas das coleções fósseis distantes do chão a 1,10 e 1,60 m, correspondendo à altura de trabalho sentado e em pé respectivamente. Será utilizado o mesmo tipo de suporte desenvolvido para o estudo de Souza voltado à medição de radônio em litotecas (no prelo). Serão distribuídos de forma que cada um cubra cerca de 3 m de diâmetro, ou poderão ser deslocados para locais mais frequentemente ocupados (mesas, bancadas). Deverão ser instalados distantes de rede elétrica ou fontes de calor, a pelo menos 10 cm de paredes ou janelas, em posição estável e devidamente sinalizados (Fig. 17 e 18).

A localização dos aparelhos deve ser fotografada e condições climáticas de umidade e temperatura devem ser aferidas diariamente junto ao serviço meteorológico local. Os detectores passivos deverão permanecer instalados por 90 dias consecutivos durante o inverno (entre maio e setembro) ou verão (entre dezembro e março), estações quando há menos ventilação nos locais, pois ocorre o fechamento de janelas seja para evitar o frio ou o calor, com uso de ar condicionado.

A planilha de controle de instalação e desinstalação dos detectores passivos de Rn será similar à utilizada no estudo de Souza (no prelo) (Apêndice A). Ela inclui data e horário desses procedimentos, operadores responsáveis, local, altura, observações, código do detector e numeração das fotos.

Os detectores serão codificados por:

- numeração sequencial (01 a 50),
- pavimento (T- térreo, P- 1º pavimento),

- disposição espacial (C- chão, M- mesa, S- suspenso) e
- numeração sequencial do recinto (01 a n).

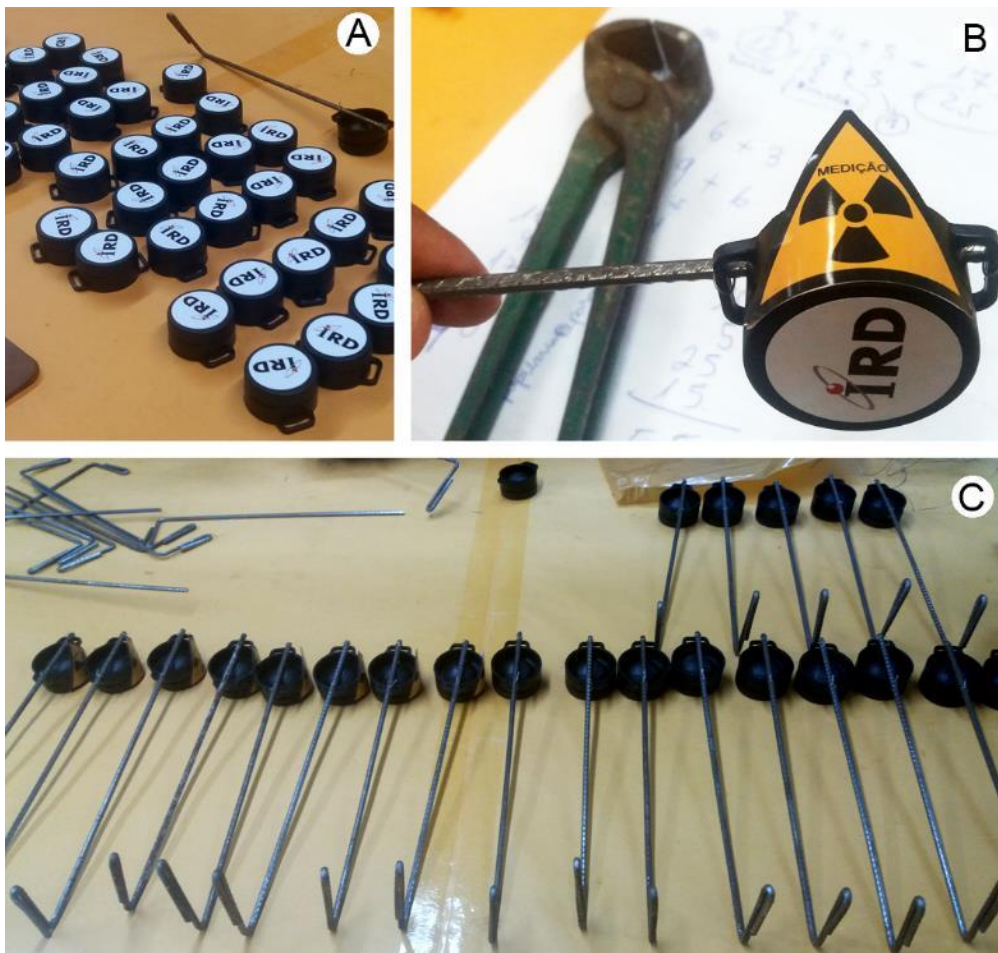
A numeração das fotos no relatório para revelação e interpretação dos dados será feita com configuração de aplicativo para numeração automática segundo a seguinte codificação:

- FA - (1 a n), instalação
- FD - (1 a n), desinstalação

Adicionalmente, um questionário será submetido aos usuários para verificar os padrões de atividades e tempo dispendido nas coleções (Apêndice B).

O projeto tem recebido apoio da Universidade Federal do Pará e do Serviço Geológico do Brasil-CPRM e deverá receber apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, da Comissão Nacional de Energia Nuclear, bem como da Agência Nacional de Mineração.

Figura 17 – Montagem dos detectores em suportes metálicos. A) Detectores sem suporte; B) detector montado no suporte e identificado com etiqueta de sinalização; C) detectores prontos nos suportes de prateleira



Fonte: Souza (no prelo).

Figura 18 – Detectores instalados com auxílio de suportes metálicos. A) Suporte acoplado à prateleira; B) suporte de piso; C) suporte de mesa (destacados em vermelho); D-F) instalação de detector externo



Fonte: Souza (no prelo).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A exposição a longo prazo à radioatividade natural pode acarretar câncer e malformações congênitas. Trabalhadores de áreas com emissões de radônio correm o risco de ingestão e inalação do gás radioativo, o qual pode causar lesões pulmonares e potencialmente causar câncer de pulmão. Deve ser proibido fumar, comer ou dormir nesses recintos. O uso de proteção facial é importante ao manusear amostras que produzam poeira radioativa (HOWIE, 1992; PRICE; HORAK; FAITHFULL, 2013; WILSON, 1996).

As medidas de segurança recomendadas ao manusear amostras geológicas e paleontológicas incluem uso de equipamento de proteção individual (EPI) para a face e corpo (óculos de segurança, máscara, luvas e avental descartáveis) e lavagem das mãos após o manuseio. Deve ser feita a instalação de placas de alerta em áreas que contenham materiais perigosos, identificação específica das amostras, redução ao máximo possível do volume das amostras e espécimes para evitar acúmulo aumentado de radiação, armazenamento das amostras em recipientes transparentes, vedados e etiquetados para que possam ser identificadas sem manipulação, fora de áreas de trânsito intenso ou onde as pessoas passem muitas horas trabalhando. Materiais sabidamente radioativos devem ser armazenados em recipientes de chumbo. Ademais, locais com esses tipos de materiais devem ser dotados de equipamento de detecção de radônio (detecção de alfa), cintilômetro manual (detecção de gama) e contador *Geiger-Müller* (detecção de beta, em geral) e serem ventilados diariamente para evitar o acúmulo do gás. Finalmente, material radioativo a ser descartado deve ser devidamente identificado e encaminhado para depósito de rejeitos contaminados (HOWIE, 1992; PRICE; HORAK; FAITHFULL, 2013; WILSON, 1996).

Em síntese, além de intensificar a ventilação passiva ou positiva (uso de ventiladores que expulsam o ar das áreas internas para o exterior do prédio), as maneiras de minimizar a exposição à radiação ionizante durante o manuseio de amostras incluem a observação dos seguintes parâmetros (BLANCO-RODRÍGUEZ et al., 2017; PRICE; HORAK; FAITHFULL, 2013):

- a) tamanho da amostra – deve ser reduzido ao mínimo possível, evitando-se armazenar material excedente às necessidades de arquivo e pesquisa;
- b) contenção – acondicionamento adequado do material, evitando que se desintegre e se disperse no ambiente;
- c) tempo de exposição – reduzido, por exemplo, através do uso de documentação fotográfica do material, evitando ou minimizando ao máximo a necessidade de manuseio;

- d) observação do material – à distância para reduzir a quantidade de radiação que atinge o observador e, por fim,
- e) proteção (EPI) – para redução do risco de contaminação da pele e das roupas. Além disso, pode-se utilizar um escudo de acrílico contra radiação para observar amostras em casos extremos.

Evidentemente, o contato com material sabidamente radioativo deve ser minimizado ao máximo, bem como evitar triturar, moer ou serrar para que não gerem poeira, especialmente em ambientes fechados, pois as formas mais prováveis de exposição à radiação são através de inalação ou ingestão da poeira (McDONALD; ELDER; SHELTON, 2005).

Existe uma série de equipamentos disponíveis no mercado como monitores, sondas, dosímetros de tipos passivo e eletrônico para controlar os níveis de partículas no ar e que podem ser instalados nos ambientes com potencial elevação nos níveis de radônio. Além desses, ainda há o dosímetro individual (monitor tipo crachá), o qual registra o histórico de exposição à radiação ionizante, que após 30 dias é enviado para o laboratório que faz a dosagem, interpretação dos dados e avaliação da segurança pessoal (THE PALEONTOLOGY PORTAL, 2020).

Nenhuma das recomendações gerais acima se aplica a materiais que emitem altos níveis de radioatividade, os quais demandam intervenção de empresas especializadas em proteção radiológica (McDONALD; ELDER; SHELTON, 2005). Por outro lado, muito provavelmente, não devem ser necessárias no ambiente alvo do projeto proposto, o que dependerá dos resultados do mesmo, a serem perseguidos após o controle da pandemia de COVID-19.

Este trabalho permitiu delinear e aprofundar a temática e as atividades a serem realizadas no ambiente proposto e análogos.

REFERÊNCIAS

- ADAMI-RODRIGUES, Karen *et al.* Herbivoria em loras gonduânicas do Neopaleozóico do Rio Grande do Sul: análise quantitativa. **Revista Brasileira de Paleontologia**, Porto Alegre, v. 7, n.2, p. 93-102, jul./ago. 2004.
- AZEVEDO, Miriam Della Posta de. **Conservação de coleções geológicas utilizando o acervo do Museu de Geociências da USP**. 2013. 199 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 2013.
- AZEVEDO, Miriam Della Posta de; DEL LAMA, Eliane Aparecida. Conservação de coleções geológicas. **Geologia USP**, Publicação Especial, São Paulo, v. 7, p. 5-105, 2015.
- BLANCO-RODRÍGUEZ, Patricia *et al.* Radon mitigation approach in a laboratory measurement room. **Sensors**, Basel, v. 17, n. 5, 1090, 2017.
- BOARDMAN, Daiana R. *et al.* Paleobotanical and palynological analysis of Faxinal Coalfield (Lower Permian, Rio Bonito Formation, Paraná Basin), Rio Grande Do Sul, Brazil. **International Journal of Coal Geology**, Amsterdam, v. 102, p. 12-25, 2012.
- BUTTS, Susan H.; BRIGGS, Derek E. G. Silicification through time. *In*: ALLISON, Peter A.; BOTTJER, David J. (ed.). **Taphonomy**: process and bias through time. 2. ed. Dordrecht: Springer, 2011. p. 411-434.
- CARDOSO, Eliezer de M. **Programa de integração CNEN** - Módulo de informação técnica. Rio de Janeiro: CNEN, 2003. 49 p. (Apostila educativa). Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/programa-de-informacao-cnen.pdf>. Acesso em: 9 set. 2020.
- CARMAN, Mary R.; CARMAN, Jeffrey D. Health considerations of radon source fossil vertebrate specimens. **Collection Forum**, Pittsburgh, v. 5, n. 1, p. 5-10, 1989.
- CINELLI, Giorgia; DE CORT, Marc; TOLLEFSEN, Tore (ed.). **European atlas of natural radiation**. Luxembourg: European Union, 2019. 190 p.
- DARBY, Sarah C.; RADFORD, Edward P.; WHITLEY, Elise. Radon exposure and cancers other than lung cancer in Swedish iron miners. **Environmental health perspectives**, Durham, v. 103, n. suppl 2, p. 45-47, 1995.
- DEGANI-SCHMIDT, Isabela. **Múltiplas evidências de perturbações ambientais durante a deposição da turfeira pós-glacial (Sakmariano) da mina de Faxinal, sul da Bacia do Paraná**. 2016. 190 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- EL HAJJ, Thammiris M. **Método para avaliação do uso de rochas ornamentais em interiores considerando as exalações de radônio e torônio**. 2017. 443 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

EL HAJJ, Thammiris M. *et al.* Radiological hazard indices and elemental composition of Brazilian and Swiss ornamental rocks. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, Recife, v. 5, n. 2, p 1-29, 2017.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Indoor Air Quality (IAQ)**. Washington: United States Environmental Protection Agency, 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq>. Acesso em: 5 jul. 2020.

EU - EUROPEAN UNION. **Radiation Protection** – Radon in Workplaces. Luxembourg: European Union, 2020. 57 p. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/93cc4aff-47c5-11ea-b81b-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-119224696>. Acesso em: 6 ago. 2020.

GOOGLE MAPS. **Campus do Vale, Bairro Agronomia, Porto Alegre, RS**. Brazil: CNES / Airbus, Maxar Technologies, Map data. 2020. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/Campus+do+Vale+-+Agronomia,+Porto+Alegre+-+RS,+90650-001/@-30.075742,-51.1268536,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x95199db0f930df8b:0x2600d1d14cde2a33!8m2!3d-30.075742!4d-51.1246649>. Acesso em: 5 jul. 2020.

GRAY, Alastair *et al.* Lung cancer deaths from indoor radon and the cost effectiveness and potential of policies to reduce them. **The BMJ**, London, v. 338, a3110, 2009.

GRIFFIS, Neil P. *et al.* A new stratigraphic framework built on U-Pb single-zircon TIMS ages and implications for the timing of the penultimate icehouse (Paraná Basin, Brazil). **GSA Bulletin**, Boulder, v. 130, n. 5-6, p. 848-858, 2018.

GROVES-KIRKBY, Christopher J. *et al.* Is environmental radon gas associated with the incidence of neurodegenerative conditions? A retrospective study of multiple sclerosis in radon affected areas in England and Wales. **Journal of Environmental Radioactivity**, Amsterdam, v. 154, p. 1-14, 2016.

GUERRA-SOMMER, Margot. **Padrões epidérmicos da Flora *Glossopteris* na Jazida do Faxinal (Formação Rio Bonito, Kunguriano, RS)**: implicações taxonômicas, bioestratigráficas, paleoecológicas e paleogeográficas. 1988. 372 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

HOWIE, Frank M. **The care and conservation of geological material**: minerals, rocks, meteorites, and lunar finds. Boston: Butterworth-Heinemann, 1992. 128 p.

IANNUZZI, Roberto. **Paleobotânica**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 167 p.

ION, Adriana. The estimation of annual effective dose from indoor radon and radon concentration measurements in the Geological Institute office building, Bucharest, Romania. *In*: FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON RADIATION AND APPLICATIONS IN VARIOUS FIELDS OF RESEARCH, 4, 2016, Serbia. **Proceedings....** Niš: RAD Centre, May 23-27, 2016. p. 507.

ION, Adriana. The influence of minerals, fossils and rocks displayed in geological collections on indoor radon levels. *In*: SECOND EAST EUROPEAN RADON SYMPOSIUM, 2, 2014, Serbia. **Book of Abstracts**. Niš: University of Niš, Faculty of Electronic Engineering, May 27-30, 2014. p. 411.

ISHIMORI, Yuu *et al.* **Measurements and calculation of radon releases from NORM residues**. Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA), 2013. 103 p.

JASPER, André *et al.* Charcoal remains from a tonstein layer in the Faxinal Coalfield, Lower Permian, southern Paraná Basin, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 83, p. 471-481, 2011.

McDONALD, Greg; ELDER, Ann; SHELTON, Sally. Appendix U, Curatorial Care of Paleontological Collections. *In*: NPS - NATIONAL PARK SERVICE. **The Museum Handbook**, Part I: Museum Collections. Washington: U.S. Department of Interior. 2005. Disponível em: <https://www.nps.gov/museum/publications/MHI/mushbkl.html>. Acesso em: 5 abr. 2020.

MEDEIROS, Manuel A. Fossildiagênese. *In*: CARVALHO, Ismar de Souza (ed.). **Paleontologia: conceitos e métodos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. v. 1, cap. 5, p. 65-77.

MENDES, Ighor D. **Biválvios do Cretáceo da Bacia de São Luís: taxonomia e observações paleoecológicas**. 2017. 136 f. Dissertação de Mestrado (Biodiversidade e Biologia Evolutiva). Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biologia Evolutiva, Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MISSIMER, Thomas M. *et al.* Natural radiation in the rocks, soils, and groundwater of Southern Florida with a discussion on potential health impacts. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 16, n. 10, p. 1793, 2019.

OLIVEIRA, Evaldo P. **Comparação de técnicas ativa e passiva na medição de concentração de radônio (^{222}Rn) no ar**. 2017. 96 f. Dissertação (Mestrado em Radioecologia) - Programa de Pós-Graduação em Radioproteção e Dosimetria, Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Comissão Nacional de Energia Nuclear – IRD/CNEN, Rio de Janeiro, 2017.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE - OMS. **Manual da OMS sobre radônio em ambientes internos: uma perspectiva de saúde pública**. 1. ed. São Paulo: Instituto de Radioproteção e Dosimetria, 2016. 119 p. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44149/9788567870038-por.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2020.

PETTA, Reinaldo A.; CAMPOS, Thomas F. C. O gás radônio e suas implicações para a saúde pública. **Revista de Geologia**, Fortaleza, v. 26, n. 2, 7-18, 2013.

PINHEIRO, Esther R. S. **Novas evidências e análise quantitativa das interações inseto-planta no Permiano Inferior da Bacia do Paraná**. 2011. 72 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PORSTENDÖRFER, Justin. Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air. **Journal of Aerosol Science**, London, v. 25, n. 2, p. 219-263, 1994.

PRICE, Monica; HORAK, Jana; FAITHFULL, John. Identifying and managing radioactive geological specimens. **Journal of Natural Science Collections**, Surrey, v. 1, p. 27-33, 2013.

SANTOS, Carlos Eduardo L. **Determinação dos processos de enriquecimento e das concentrações de radônio em minas subterrâneas de fluorita e carvão do estado de Santa Catarina**: critérios para avaliação dos riscos radiológicos. 2008. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SILVA, Camila R. **Avaliação dos níveis de radioatividade natural em centros urbanos e suas implicações a saúde pública**. 2019. 111 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geociências – Geoquímica, Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.

SIMAS, Margarete W. **Origem vulcânica para o tonstein da jazida do Faxinal (RS): estudos mineralógicos, petrográficos e de palinofácies**. 2008. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SIMAS, Margarete W. *et al.* Geochronological correlation of the main coal interval in Brazilian Lower Permian: Radiometric dating of tonstein and calibration of biostratigraphic framework. **Journal of South American Earth Sciences**, Amsterdam, v. 39, p. 1-15, 2012.

SOUZA, Geraldo M. **Detecção de radiação em litoteca**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geomedicina) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, no prelo.

STEFANO, Paulo Henrique P.; ROISENBERG, Ari. Presença de radônio no ar de edificações da área abrangida pelo granito Viamão em Porto Alegre, Brasil, utilizando detectores tipo CR39. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 3, p. 371-376, 2019.

TAUHATA, Luiz *et al.* **Radioproteção e dosimetria**: fundamentos. 10. rev. Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2014. 345 p.

THE PALEONTOLOGY PORTAL. **Health & Safety**. Washington: AMNH - American Museum of Natural History, 2020. Disponível em: <http://preparation.paleo.amnh.org/62/health-safety>. Acesso em: 05 abr. 2020.

UNITED KINGDOM DESIGN COUNCIL. **Eleven lessons**: managing design in eleven global brands - a study of the design process. London: Design Council, 20 jan. 2007. 144 p. Disponível em: https://www.designcouncil.org.uk/sites/default/files/asset/document/ElevenLessons_Design_Council%20%282%29.pdf. Acesso em 9 jun. 2020.

UNITED KINGDOM DESIGN COUNCIL. **What is the framework for innovation?** Design Council's evolved Double Diamond. London: Design Council, 2019. Disponível em: <https://www.designcouncil.org.uk/news-opinion/what-framework-innovation-design-councils-evolved-double-diamond>. Acesso em 02 set. 2020.

WILSON, Marc L. **Radioactive specimens in museum collections**. Tucson: The Society of Mineral Museum Professionals, 1996. Disponível em: <http://www.smmp.net/rept-rad-cmnh.htm>. Acesso em: 5 abr. 2020.

APÊNDICE A – Planilha de controle dos detectores (proposta)

Operadores instalação _____ Data _____

Operadores desinstalação _____ Data _____

BG- *background*, PV- *Paleovertebrados*, PB- *Paleobotânica*

CÓDIGO DETECTOR	LOCAL/SALA	DATA/HORA		ALTURA (m)	OBSERVAÇÕES	FOTOS
		Instalação	Desinstalação			
01-BG-Aberto-01	Voo - ida	02/01/21; 11:20	04/04/21;		Aberto, em embalagem metálica	
02-BG- Aberto -02	Voo - volta	02/01/21; 11:25			Aberto, em embalagem metálica	
03-BG-Fechado-03	Voo - volta				Fechado, em embalagem metálica	
04-BG Externo	Jardim N					F01-03
05-BG Externo	Jardim S					F04
06-BG Externo	Jardim L				
07-BG Externo	Jardim O					
08-BG Interno T	107 (gabinete)			1,6		
09-BG Interno T	117 (sala de aula)			1,6		
10-BG Interno P	203 (gabinete alunos)			1,1		
11-BG Interno P	215 (sala de aula)			1,1		
12-T-C-01	117 (laboratório PV)			1,6		
13-T-C-02	117 (laboratório PV)			1,6		
14-T-C-03	117 (laboratório PV)			1,6		
15-T-M-04	117 (laboratório PV)			1,1		
16-T-M-05	117 (laboratório PV)			1,1		
17-T-M-06	117 (laboratório PV)			1,1		
18-T-M-07	117 (laboratório PV)			1,1		
19-T-M-08	117 (laboratório PV)			1,1		

(Continua)

CÓDIGO DETECTOR	LOCAL/SALA	DATA/HORA		ALTURA (m)	OBSERVAÇÕES	FOTOS
		Instalação	Desinstalação			
20-TS-09	117 (laboratório PV)			1,6		
21-T-S-10	117 (laboratório PV)			1,6		
22-P-C-01	212 (repositório PB)			1,6		
23-P-C-02	212 (repositório PB)			1,6		
24-P-C-03	212 (repositório PB)			1,6		
25-P-M-04	212 (repositório PB)			1,1		
26-P-S-05	212 (repositório PB)			1,6		
27-P-C-01	214 (repos + lab PB)			1,6		
28-P-C-02	214 (repos + lab PB)			1,6		
29-P-C-03	214 (repos + lab PB)			1,6		
30-P-C-04	214 (repos + lab PB)			1,6		
31-P-C-05	214 (repos + lab PB)			1,6		
32-P-M-06	214 (repos + lab PB)			1,1		
33-P-M-07	214 (repos + lab PB)			1,1		
34-P-M-08	214 (repos + lab PB)			1,1		
35-P-M-09	214 (repos + lab PB)			1,1		
36-P-S-10	214 (repos + lab PB)			1,6		
37-P-S-11	214 (repos + lab PB)			1,6		
38-P-S-12	214 (repos + lab PB)			1,6		
39-P-S-13	214 (repos + lab PB)			1,6		
40-T-C-01	Museu			1,6		
41-T-C-02	Museu			1,6		
42-T-C-03	Museu (sala projeção)			1,1		
43-T-C-04					

(Continua)

(Conclusão)

CÓDIGO DETECTOR	LOCAL/SALA	DATA/HORA		ALTURA (m)	OBSERVAÇÕES	FOTOS
		Instalação	Desinstalação			
44-T-C-05						
45-T-C-06						
46-T-C-07						
47-T-C-08						
48-T-C-09						
49-T-C-10				1,1		
50-T-C-11				1,1		

APÊNDICE B – Questionário

1. Número de horas semanais passadas dentro do local investigado: _____

2. Utilização de equipamento de proteção individual (EPI)
 - máscara
 - jaleco
 - óculos proteção
 - luvas

3. Atividades executadas
 - trituração, moagem
 - preparação mecânica
 - observação sob lâmpadas
 - outra, especificar:

4. Utilização de produtos químicos
 - gesso
 - ácidos/bases, especificar
 - outros, especificar

5. Frequência de limpeza / tempo de permanência dos resíduos no recinto

6. Ventilação
 - janelas abertas
 - ventilador
 - janelas fechadas com ar condicionado
 - outra, especificar: _____