



ESTIMATIVA DE DOSE EM UMA RESIDÊNCIA COM ALTA CONCENTRAÇÃO DE RADÔNIO: UM ESTUDO DE CASO

Sueli C. T Coelho¹, Talita O. Santos¹, Laura C. Takahashi² e Ricardo G. Passos²

¹ rapminas@yahoo.com.br, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

¹ tolsantos09@gmail.com, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

² lauratakahashi@hotmail.com, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN)

² ricardo.passos@cdtn.br, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN)

Palavras-Chave: Dose; Radônio; Residências.

RESUMO

O radônio tende-se a acumular em ambientes fechados ou com pouca ventilação. A Organização Mundial da Saúde (OMS) o reconhece como a segunda maior causa de câncer de pulmão no mundo e recomenda realizar medições em residências e locais de trabalho. O presente trabalho trata-se de um estudo de caso, a fim de estimar a dose recebida pelos moradores de uma residência com alta concentração de radônio. Contribuindo para a realização do protocolo recomendado pela OMS e elaborando medidas de mitigação para esta e demais residências. Durante a Campanha de Monitoração de Radônio em Ambientes Internos de Belo Horizonte, esta residência apresentou concentração de atividade proveniente do radônio de 445,0 Bq/m³, estando acima do limite recomendado pela OMS de 300 Bq/m³. Para este estudo utilizou-se 13 detectores de traços tipo CR-39 (Baryotrak/Fukuvi). Após o estudo radiométrico com estes detectores calculou-se a dose efetiva anual do radônio com base nas recomendações da UNSCEAR. Ela é feita pelo produto da concentração de atividade de radônio (Bq/m³), fator de equilíbrio (0.4), tempo de permanência em locais (7000h) e fator de conversão dosimétrica (9 nSv por Bqh/m³). A dose efetiva anual teve a concentração obtida pelos detectores CR-39, que são os mais recomendados. Para um indivíduo que permanecesse no porão da residência (cômodo inabitado), a média da dose efetiva encontrada foi: 81,20 mSv, ele localiza-se ao lado de um quarto de dormir, sugerindo que a concentração elevada do quarto seja proveniente do radônio presente no porão. Nos cômodos da casa, a dose efetiva mínima foi de 0,41 mSv máxima de 11.21 mSv. Valores encontrados indicam que medidas de mitigação como melhorar a ventilação e revestir o porão devem ser adotadas. A metodologia utilizada pode ser adotada nas demais residências que apresentaram concentração elevada, reduzindo a dose efetiva anual a que os moradores são expostos, diminuindo assim, o risco de desenvolver câncer de pulmão pela exposição ao radônio.



1. INTRODUÇÃO

A radioatividade natural é proveniente dos radionuclídeos naturais presentes nos diversos compartimentos ambientais e dos raios cósmicos. O radônio é um desses elementos naturais, ele é o gás nobre mais pesado, sendo o único que não possui isótopos estáveis. Dentre suas características químicas destaca-se o fato dele ser insípido, inodoro e incolor. O radônio se apresenta na forma de dois radioisótopos principais: o ^{222}Rn (cuja meia-vida é de 3,8 dias) e sua concentração típica no ar é de $6,0 \times 10^{-14}$ ppm produto de decaimento do ^{238}U ; e o ^{220}Rn (cuja meia-vida é de 55 segundos), produto de decaimento do Tório (^{232}Th) [1,2].

A maior parte das doses e danos provenientes da exposição ao radônio são causados pelos seus filhos de meia-vida curta, conhecidos como progênie do radônio, os radioisótopos: Polônio (^{218}Po), Chumbo (^{214}Pb) e Bismuto (^{214}Bi), os quais ao serem inalados sofrem o decaimento radioativo por meio da emissão de uma partícula alfa. Essa exposição por inalação e posterior deposição da progênie nos pulmões pode ocasionar o desenvolvimento de um câncer [3]. O radônio e seus filhos, são considerados a segunda causa de câncer de pulmão, atrás somente do cigarro. Sendo o maior problema associado ao ^{222}Rn a inalação dos seus produtos de decaimento, esses por serem partículas sólidas se alojam no trato pulmonar a onde permanecem durante toda sua desintegração radioativa [3,4].

Avalia-se que 70% da dose total de radiação ionizante a que os seres humanos estão expostos, são oriundas de fontes naturais, na qual 50% dessa dose vem do radônio e de sua progênie. A altitude, nível do mar, composição do solo, acúmulo de radônio nos ambientes e composição dos radionuclídeos presentes em alimentos e na água, além de práticas antropogênicas, como os materiais de construção, a ventilação e atividades socioeconômicas como a mineração são exemplos de alguns fatores que influenciam na dose que o indivíduo recebe [6].

Sendo assim, a OMS recomenda realizar medidas em residências e locais de trabalho. Todavia, a cultura do radônio ainda carece de conhecimento da população no Brasil e no mundo. Uma pesquisa feita com a população portuguesa, mostrou que a maior parcela dos que participaram do estudo não tinham conhecimento nenhum sobre o radônio. Sendo que, no grupo dos que estavam cientes do radônio, faltava uma compreensão quanto aos seus riscos e as possíveis consequências devido a exposição ao mesmo [2]. Uma pesquisa de opinião realizada no Brasil abordou perguntas relacionadas ao radônio, a primeira “Respiramos algum gás radiativo no nosso dia a dia?”, 60,4% dos entrevistados responderam que sim, 14,56% que não e 25% não sabiam. Apesar da maior parte dos entrevistados afirmarem que sim, ao serem questionados se conheciam o radônio, 44,8% afirmaram que sim e 55,2% que não. E, ao serem perguntados se sabiam que o mesmo poderia acumular em ambientes fechados, 30,2% afirmaram que sim e 69,8% que não [7]. Os resultados apresentados por pesquisas do tipo ressaltam a necessidade de educar a população sobre o assunto e assim, incentivá-las a participarem de programas de monitoração de radônio.

Estudos radiométricos da radioatividade natural, principalmente com foco no radônio podem contribuir para a saúde pública da população. A identificação de sítios com alta concentração pode indicar alguma anomalia geológica cabível de maiores investigações para assegurar a saúde de população. A monitoração em locais fechados, como residências e locais de trabalho, permite que o indivíduo conheça a situação de seu ambiente e possa tomar medidas cabíveis para mudança. Nesse cenário, o presente trabalho trata-se de um estudo de caso, a fim de estimar a dose recebida pelos moradores de uma residência com alta concentração de radônio. Desta forma, contribuir para a realização do protocolo de medidas para a avaliação de residências que tenham alta concentração e elaborar medidas de mitigação para a residência em estudo e demais residências.



2. METODOLOGIA

2.1. Local de estudo

A geologia do município de Belo Horizonte contém em maior parte rochas arqueanas do complexo granítico-gnáissico. Assim sendo, pesquisas realizadas no Laboratório de Radioatividade Natural do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (LRN/CDTN) mostram que a cidade de BH deve ser objeto de estudos aprofundados da radioatividade natural [8].

A residência de estudo localiza-se na Região Oeste de BH, tendo participado voluntariamente da CMRAI-BH (Campanha de Monitoração do Radônio em Ambientes Internos de Belo Horizonte). Sendo, essa residência apontada como uma das 2,8% que apresentaram concentração de atividade de radônio acima de 300 Bq/m^3 . O detector CR-39 instalado nessa residência ficou em um quarto de dormir, no primeiro andar. Esse cômodo localiza-se ao lado de um porão. Visto que a casa foi construída parte apoiada ao solo e parte suspensa. Durante o tempo de exposição: 3 meses no período seco e 3 meses no período chuvoso, a concentração de radônio foi $445,0$ e $231,2 \text{ Bq/m}^3$, respectivamente.

Após o estudo inicial da CMRAI-BH, foi realizado um estudo radiométrico mais aprofundado utilizando os detectores de traços nucleares, CR-39, eletretos (E-PERM), AlphaGUARD e o detector RS-230. O cômodo mais estudado na residência foi o porão semi-suspensão localizado entre o primeiro andar/térreo e o segundo andar. A entrada do porão fica dentro de um quarto de dormir. Ressalta-se que o cômodo não possui nenhuma ventilação ou saída de ar além de uma pequena porta de aproximadamente $1 \text{ m} \times 60 \text{ cm}$ [18].

2.2. Concentração de radônio

Para medir a concentração de atividade de radônio e posteriormente calcular a dose de radiação proveniente do radônio, utilizou-se detectores de longo prazo, tipo CR-39 (Baryotrak/Fukuvi). Eles foram distribuídos em 13 pontos da residência por um período de tempo de dois meses. Após a retirada dos detectores, os mesmos foram submetidos a um ataque químico com uma solução de $\text{NaOH} + 2\%$ de álcool durante 14 horas em um banho térmico. Decorrido o tempo, os detectores foram lavados para retirar toda a solução e assim encerrar o processo de ampliação dos traços gerados pela interação da radiação alfa com a superfície do detector. Posteriormente, imagens da superfície do detector foram feitas com um microscópio óptico e processadas no software Quantikov para que fosse feita a contagem dos traços. A partir da contagem dos traços, da área lida e de um fator de conversão, foi possível obter a concentração de radônio medida pelo detector. O processo pode ser visto na Figura 1.

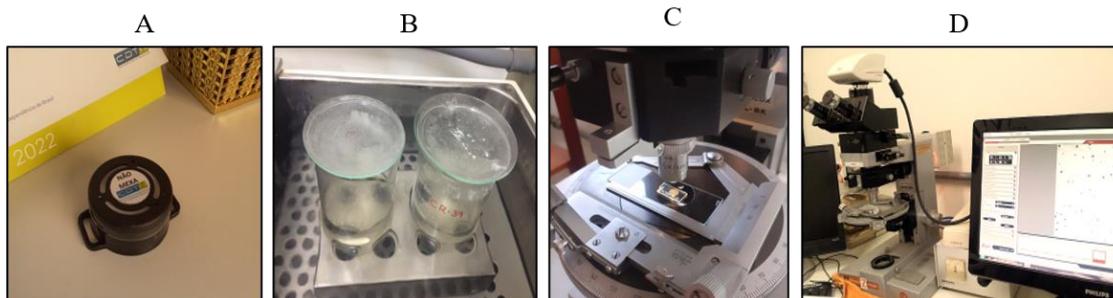


Fig I: Processo do CR-39. Fonte: [6]



Legenda: (A) montagem de dispositivos detectores CR-39; (B) processo de ataque químico; béquer de 500 ml com a solução de NaOH com 2% de álcool no banho termotizado, no qual os detectores retirados após exposição foram colocados e permanecem por aproximadamente 14 horas – processo de revelação dos traços, (C) aquisição das imagens com microscópio óptico (ORTHOLUX) com lente objetiva de 5x acoplada a uma câmera DFC295 (Leica Microsystems Ltda. com o software LAS V3.8., (D) contagem dos traços no software Quantikov e posterior conversão do número de traços para concentração de radônio.

2.3. Cálculo da dose efetiva devido a inalação de radônio

De acordo com a publicação 65, Protection Against Radon-222 at home and at work, da ICRP 23 de 1993 [1] a taxa de dose efetiva (E) é calculada com base no modelo dosimétrico da UNSCEAR estimando a dose efetiva anual proveniente do radônio, como demonstrado na Equação 1.

$$E = C_{Rn} \cdot F \cdot t \cdot k \quad (1)$$

Onde:

E = Taxa de dose efetiva, em Sv ($J h m^{-3}$)⁻¹

C_{Rn} = Concentração de radônio em equilíbrio, no ar, em Bq/m³

T = Tempo de duração da exposição, em h/ano; sendo 7000 horas para residências.

F = Fator de equilíbrio para áreas internas, igual a 0,4.

k = fator de conversão dosimétrica 1,6 mSv ($mJ h m^{-3}$)⁻¹

Ressalta-se que o fator de conversão dosimétrica varia entre 5 a 71 ($Bq h m^{-3}$)⁻¹, sendo que, convencionalmente, utiliza-se o valor 1,6 mSv ($mJ h m^{-3}$)⁻¹ para estimar os níveis de exposição ao radônio para a população¹ em ambientes internos (UNSCEAR, 2006).

3. RESULTADOS

Os resultados concentração de atividade de radônio no ar medidas pelos detectores CR-39 e suas respectivas doses podem ser vistos na Tabela I.

Tabela I: Resultados da concentração de radônio no ar e a dose correspondente.

Andar	Local	Concentração de radônio (Bq/m ³)	Dose (mSv)*	Dose (mSv)**
Porão	Ponto 1	3491,0	87,97	70,58
	Ponto 2	3125,3	78,75	63,18
	Ponto 3	3050,5	76,87	61,67
1º	Banheiro	48,5	1,20	0,96
	Quarto	158,8	11,21	8,99
	Quarto de fora	110,8	2,79	2,24
	Sala TV	16,2	0,41	0,33
2º	Cozinha	61,4	1,55	1,24
	Sala de estar	77,3	1,95	1,56
	Escritório	25,9	0,65	0,52
	Banheiro	84,5	2,13	1,71
3º	Quarto	48,5	1,22	0,98
	Escritório	22,8	0,57	0,46

*Utilizou-se os valores da UNSCEAR considerando 7000 horas **Utilizou-se as horas aproximadas que o indivíduo permaneceria na residência durante o ano, 5616 horas.



As maiores concentrações e conseqüentemente as maiores doses são atribuídas a um indivíduo que ocupe o porão, apesar de não ser um cômodo habitável sugere-se que ele contribui significativamente para a dose efetiva de um indivíduo que ocupe o quarto ao lado, a qual foi de 11,21 mSv. Sendo assim, é recomendável realizar o revestimento do porão, assim como a instalação de um sistema de exaustão. Os cômodos localizados no primeiro andar apresentaram maiores concentrações de radônio. O segundo andar apresentou concentrações dentro dos limites estabelecidos. Ressalta-se que o banheiro que apresentou 84,5 Bq/m³ localiza-se bem acima do porão, inclusive possuindo um canal de acesso para os canos, sugerindo assim que existe radônio sendo exalado do porão para o banheiro. O terceiro andar também possui medidas dentro dos limites. Isso reforça a influência do solo como fonte de radônio.

Estimativas de doses efetivas da exposição ao radônio mais precisas podem ser feitas, não se considerando apenas 7000 horas anuais (UNSCEAR), e sim a rotina diária dos residentes. No caso em estudo, por exemplo, os moradores permanecem 24 horas nos finais de semana e 12 horas em dias úteis. De modo que a exposição específica seria de 5616 horas anuais, conforme o cálculo também apresentado na Tabela I – dose (mSv)**.

De acordo com a NN CNEN 3.01 (2024), a dose proveniente do radônio não somatiza a dose efetiva anual. A mesma deve ser acrescentada a parte e não possui um valor limite. A norma nacional reporta que o valor de referência deve ser o da concentração de radônio em ambientes internos não ultrapassando 300 Bq/m³, convertendo para a dose seria o equivalente a 7,56 mSv [19]. A OMS sugere que a partir de 100 Bq/m³, equivalente a 2,52 mSv, já é um primeiro alerta para investigação do radônio, sendo necessário intervenções a partir de 300 Bq/m³. Considerando esses limites, 30,77% dos pontos medidos estão acima de a 7,56 mSv e 38,46% estão acima de 2,52 mSv.

Todavia, estudos como o de Gonzales e colaboradores (2020), afirmam um risco potencial de desenvolver câncer de pulmão a partir de uma concentração de de atividade de radônio de 50 Bq/m³. As conclusões dos autores perante os resultados encontrados reportam que não existe exposição segura de radônio [4]. Visto que, a OMS identifica a exposição ao radônio em ambientes fechados como uma preocupação relevante de saúde pública, como a segunda causa de câncer de pulmão, a prevenção efetivamente a exposição ao radônio nas fases de projetos que antecedem a construção, se torna um modelo preliminar para diagnosticar e prever a existência do radônio em tais locais, o que garante a segurança dos ocupantes [5]. A correção das concentrações de radônio em ambientes internos surge como um meio promissor para reduzir o impacto à saúde pública decorrente da ocorrência natural desse gás radioativo, tanto de uma perspectiva corretiva quanto preventiva.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi feita a estimativa de dose em uma residência com alta concentração de atividade de radônio, tendo um papel fundamental na avaliação do risco à saúde dos que nela residem. Os detectores CR-39 mostraram-se adequados para a aplicação de medidas de radônio em residências tanto pela sua facilidade de instalação, quanto pela sua boa eficiência. Como já enfatizado por órgãos norte-americanos e europeus, estudos brasileiros cada vez mais apontam a preocupação com monitorar radônio em ambientes internos. Sendo assim, é de fundamental importância a utilização de métodos de avaliação precisos e a adoção de medidas de mitigação eficazes para garantir um ambiente residencial seguro e saudável. Contudo, é de suma importância a estimulação da criação de normas e legislações específicas sobre o gás radônio que propiciem a prevenção e a proteção da saúde pública.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CDTN/CNEN e à UFMG pelo apoio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Deveci e Oncel, 2023 F. Deveci , MS Oncel: Investigação da linha de metro Gebze-Darica (Província de Kocaeli/Turquia) em termos de níveis de radônio e radiação gama. *Revista de Pesquisa em Radiação e Ciências Aplicadas* (2023), p. 16
- [2] Lopes et al., 2021 SI Lopes , LJ Nunes , A. Curado: Projetando um indicador de exposição ao risco de radônio em ambientes internos (IRREI): Uma ferramenta de avaliação para gerenciamento de risco e comunicação na era da IoT. *Revista Internacional de Pesquisa Ambiental e Saúde Pública*, 18 (2021), p. 7907 [Referência Cruzada]
- [3] Nunes et al., 2022 LJR Nunes , A. Curado , LCCd Graça , S. Soares , SI Lopes: Impactos do radônio interno na saúde: uma revisão abrangente sobre causas, avaliação e estratégias de remediação. *Revista Internacional de Pesquisa Ambiental e Saúde Pública*, 19 (2022), p. 3929.
- [4] Lorenzo-Gonzalez et al., 2020 M. Lorenzo-Gonzalez, A. Ruano-Ravina , M. Torres Duran , KT Kelsey , M. Provencio , I. Parente-Lamelas , M. Piñeiro-Lamas , L. Varela-Lema , M. Perez-Rios , A. Fernandez-Villar: Risco de câncer de pulmão e exposição residencial ao radônio: um agrupamento de estudos de caso-controle no noroeste da Espanha *Pesquisa Ambiental* , 189 (2020), Artigo 109968
- [5] Silva et al., 2021 JP Silva , N. Lopes , A. Curado , LJR Nunes , SI Lopes: Projeto de um modelo qualitativo de pré-diagnóstico para avaliação do potencial de radônio em ambientes internos: Anais da ICEER 21—8ª conferência internacional sobre pesquisa em energia e meio ambiente , Porto, Portugal (2021)
- [6] TAKAHASHI, Laura Cardoso et al.. ESTUDO DO RADÔNIO EM UM AMBIENTE SUBTERRÂNEO. In: Anais da Semana Nacional de Engenharia Nuclear e da Energia e Ciências das Radiações. Anais...Belo Horizonte (MG) UFMG - Evento online, 2021.
- [7] UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation: Sources Annex B. Exposures of the Public and Workers from Various Sources of Radiation. United Nations Publications. [S.l.: s.n.], 2008.
- [8] WHO – World Health Organization. “Who Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective”, WHO Library: Cataloguing-in-Publication Data, France, (2009).
- [9] T. O. SANTOS “Radionuclídeos Naturais em Minas Subterrâneas Brasileiras”, *Tese* (Doutorado em Ciências e Técnicas Nucleares) – UFMG, (2015).
- [10] IAEA – International Atomic Energy Agency. “Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines”. Safety Reports Series N° 33, Vienna, Austria, 2003.
- [11] KNOLL, G. F. Radiation Detection Measurements, New York: John Wiley, 2000.
- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY and WORLD HEALTH ORGANIZATION 2020. Design and Conduct of Indoor Radon Surveys, Viena, 2020.
- [13] INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (INCA). Estimativa 2023: incidência de câncer no Brasil. Rio de Janeiro, Brasil. 2022.



Semana Nacional de Engenharia Nuclear e da Energia e Ciências das Radiações – VII SENCIR
Belo Horizonte, 12 a 14 de novembro de 2024

[14] World Health Organization. Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. Geneva: World Health Organization; 2009. Available at: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK143216/>>. Last accessed: 11 June 2024.

[15] ICRP, 2007, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103

[16] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). UNSCEAR 2019 Report. United Nations, New York, (2020).

[17] C. R. Silva e D. Vasconcelos. Avaliação dos níveis de radônio em ambientes fechados no Brasil: uma visão geral. Revista virtual de química. Vol. 13, pp 1372-1383, (2021).

[18] COELHO, Sueli C. T. “Avaliação da Radioatividade Natural em uma Residência de Belo Horizonte”, TCC (Graduação Tecnologia em Radiologia) – UFMG, (2023).

[19] Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Diretrizes básicas de proteção radiológica: Norma CNEN-NN-3.01, (2024).