Originalmente publicado na Revista COOPEX/FIP (ISSN:2177-5052). 9ª Edição - Vol. 09 - Ano: 2018. No seguinte endereço: http://coopex.fiponline.edu.br/artigos

MÉTODOS DE DOSIMETRIA PARA O RADÔNIO INTERNO EM RESIDÊNCIAS

Helder Santos de Figueiredo[1*]
Rodrigo Diniz Paiva[2**]
Iankel Ribeiro de Sá Vieira[3***]

RESUMO

Esta pesquisa teve o objetivo de fazer um levantamento na literatura sobre os principais detectores usados para a medição do gás radônio em ambientes fechados de residências, explicando seu funcionamento e suas vantagens para tal função. Foi realizada uma busca no período de janeiro de 2018 na página virtual do Google Acadêmico nas bases de dados PubMED/Medline, SciELO e CAPES e selecionados 8 trabalhos científicos, dentre eles: dissertação, tese e artigos. Foram identificados vários tipos de detectores utilizados pelos pesquisadores para medir o radônio, dentre os principais estão os Detectores de Estado Sólido de Traços Nucleares (SSNTD) também chamados de Detector de Traços para Partícula Alfa (DTPA) e Câmaras de Ionização de Eletreto (CIE). Portanto, o detector que mais se adequa para a medição do radônio dependerá do tipo dispositivo, do tempo de análise e das condições climáticas e ambientais do local a ser avaliado.

Palavras-chave: Detectores. Gás Radônio. Habitações.

ABSTRACT

This research had the objective of making a survey in the literature on the main detectors used for the measurement of radon gas in closed dwellings, explaining its operation and its advantages for such function. A search was carried out in January 2018 on the Google Scholar Virtual page in the PubMED / Medline, SciELO and CAPES databases, and selected 8 scientific papers, among them: dissertation, thesis and articles. Several types of detectors used by researchers to measure radon have been identified, among which are the Solid State Trace Detectors (SSNTDs) also called the Alpha Particle Tracer Detector (DTPA) and Electret Ionization Chambers (CIE). Therefore, the detector that best suits the radon measurement will depend on the time of analysis and the climatic and environmental conditions of the site to be evaluated.

Keywords: Detectors. Housing. Radon gas.

[1*]Graduando do Curso de Bacharelado de Tecnologia em Radiologia das Faculdades Integradas de Patos – Paraíba, Brasil. E-mail: heldsantos2012@gmail.com
[2**] Graduando do Curso de Bacharelado de Tecnologia em Radiologia das FIP – Paraíba, Brasil. E-mail: dinizrdpb@gmail.com
[3***]Docente Especialista do Curso Superior de Tecnologia em Radiologia das FIP, Paraíba, Brasil. E-mail: iankelribeiro@gmail.com

INTRODUÇÃO

O radônio (especificamente ^{222}Rn) um dos descendentes do decaimento do urânio e rádio, é um radionuclídeo em forma de gás em que frequentemente é originado do solo e de rochas. Com isso, ele está presente em todos os ambientes da atmosfera. Quando esse gás é inalado acontece dentro dos pulmões o decaimento do mesmo, em dois produtos, o polônio-218 (^{218}Po) e polônio-214 (^{214}Po) que, por sua vez, liberam radiação alfa em células daquela região do organismo, sendo este gás a maior causa de câncer de pulmão entre os não fumantes, e a segunda maior entre os fumantes, pois a interação entre o fumo e a inalação do radônio potencializam a vulnerabilidade para desenvolver a patologia (UNEP, 2016; OMS, 2016).

Esse radionuclídeo se infiltra nas casas por meio de buracos, aberturas, rachaduras de paredes e principalmente do piso. A concentração média mundial de radônio interno dentro das residências é aproximadamente 50 Becquerel por metro cúbico (Bq/m^3). Entretanto esse valor é bastante variável de região para região. Geralmente essas concentrações se diferenciam vastamente com valores menores de que 10 Bq/m^3 até mais de 100 Bq/m^3. Há também valores entre 1000 e 10 000 Bq/m^3 em países como o Canadá, Suécia e a Suíça. Porém o índice de casas com esses valores altos é pequeno. Essa variação depende de vários fatores, como geologia do local, tipo do solo, permeabilidade do solo, materiais usados nas construções e a ventilação desses imóveis (UNEP, 2016).

As medições do radônio em residências são fáceis de serem realizadas, porém devem ser baseadas em protocolos padronizados com a intenção de garantir valores precisos e consistentes. São adequadas medições em longo prazo pelo fato das oscilações que a concentração do radônio faz ao longo do dia e pela influência das estações do ano. A estimativa para concentração média anual desse gás exige valores confiáveis, então se recomenda no mínimo três meses de analise nos ambientes que vão ser estudados, pois medições em curto prazo apresentam somente uma aproximação dos valores reais. Outro fator que influencia é o tipo de detector utilizado, visto que influi no custo de medição e no custo de programas nacionais para o radônio. Com o propósito de garantir confiabilidade dos valores medidos é recomendado programas de garantia e controle de qualidade para os dispositivos usados na medição (OMS, 2016).

Os detectores de radiação são dispositivos capazes de medir e indicar a presença da radiação em determinado meio. São vários os processos para a interação da radiação com o

material usado para a medição. Os mais usados são os que incluem a geração de cargas elétricas, a geração de luz, a criação de traços no material, a geração de calor e alterações de dinâmica de alguns processos químicos. Frequentemente um detector de radiação é composto de um material sensível à radiação e um sistema que converte essa interação em valores de uma grandeza de medição (TAUHATA et al., 2013).

Entre os detectores mais usados para medição do radônio, segundo a WHO (2007), estão os DTPA (Detectores de Traço de Partículas Alfa), CIE (Câmara de Ionização de Eletreto), DCA (Detectores de Carvão Ativado), DIE (Detectores de Integração Eletrônica) e MCR (Monitores Contínuos de Radônio). Assim sendo, esta pesquisa teve o objetivo de fazer um levantamento na literatura sobre os principais detectores usados para a medição do gás radônio em ambientes fechados de residências, explicando seu funcionamento e suas vantagens para tal função.

METODOLOGIA

Esta pesquisa é caracterizada por ser uma revisão na literatura no qual foram avaliados os tipos de detectores mais usados para medição do radônio interno em residências. De acordo com Brasileiro (2013) revisões bibliográficas se baseiam em publicações científicas de periódicos, revistas, livros etc. não tendo a coleta de campo, isto é, a coleta *in natura*, entretanto ela não se configura apenas numa simples transcrição de ideias, tendo o seu valor na contribuição para a Ciência, abordando sobre as atualizações de determinado assunto.

Foi realizado um levantamento na literatura no período de janeiro de 2018 na página virtual do Google Acadêmico nas bases de dados PubMED/Medline, SciELO e CAPES considerando os descritores em inglês: “detectors”, “indoor radon”, “residences”, e em português: “Detectores”, “Radônio interno” e “Residências”.

Como critérios de inclusão foram usados trabalhos científicos publicados nos últimos 5 anos, equivalendo ao período de Janeiro de 2013 à Janeiro de 2018; que estavam disponíveis na íntegra; estudos de campo; nos idiomas português e inglês; e correspondessem ao objetivo dessa pesquisa. Os artigos que eram de revisões de literatura e que tratavam exclusivamente de radônio em ambientes externos, em minas subterrâneas, do solo e da água foram excluídos da seleção.

As fases que compuseram este estudo foram: delimitação e definição do tema junto do objetivo geral, descrição da metodologia, pesquisas nas plataformas e posteriormente seleção

dos artigos científicos sobre a temática abordada, caracterização e interpretação dos resultados encontrados e, por ultima etapa, a apresentação dos conhecimentos achados sobre o tema.

Para seleção dos artigos foram encontrados a partir dos descritores aproximadamente 220 trabalhos científicos de diversos tipos, quando colocados os filtros que corresponderam aos critérios de inclusão e exclusão, foram eliminados 170, o restante foi lido os seus resumos e com isto, eliminados 145. O que restou foi lido na integra e selecionados 8 trabalhos científicos, pois os mesmos apresentavam afinidade com o objetivo do presente estudo.

Além dos trabalhos selecionados, foram utilizadas outras fontes científicas, como manuais da Organização Mundial de Saúde - OMS, do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA, cartilhas e publicações da Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN e outras vias confiáveis sobre a medição do radônio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os trabalhos científicos que constituíram essa pesquisa estão descritos logo a seguir, na Tabela 01, assim como informações sobre autor, título, idioma e ano de publicação.

Tabela 01 – Caracterização dos trabalhos científicos selecionados

Autor	Título	Idioma	Ano
Fintan et al.	Comprehensive survey of household radon gas levels and risk factors in southern Alberta	Inglês	2017
Sarkar et al.	Indoor Radon in Micro-geological Setting of an Indigenous Community in Canada: A Pilot Study for Hazard Identification	Inglês	2017
Műllerová et al.	Indoor radon survey in Visegrad countries	Inglês	2016
Cucos et al.	Residential, soil and water radon surveys in north-western part of Romania	Inglês	2016
Bezerra	Dosimetria termoluminescente na avaliação da dose “indoor” das residências do município de São José de Espinharas-PB	Português	2015
Brito	Medição de concentrações de radônio em ambientes da região metropolitana de Salvador, BA.	Português	2013
Campos et al.	O gás radônio e a radiação natural em terrenos metagraníticos e pegmatíticos: o caso do município de Lages Pintadas (Rio Grande do Norte, Brasil)	Português	2013
Campos et al.	O Gás Radônio Doméstico e a Radioatividade Natural Em Terrenos Metamórficos: o Caso do Município de Lucrecia (Rio	Português	2013

Grande do Norte, Brasil)

Fonte: os Autores (2018).

Verificou-se na Tabela 01 que 50% dos trabalhos científicos eram no idioma inglês e estavam entre os anos de 2015 a 2017, e 50% eram no idioma português entre os anos de 2013 a 2015.

Na Tabela 02 estão descrito os detectores de radiação usados nos estudos selecionados bem como o país da pesquisa, os autores e ano da publicação.

Tabela 02 - Principais detectores utilizados para a medição de radônio em ambientes residenciais encontrados nos artigos selecionados

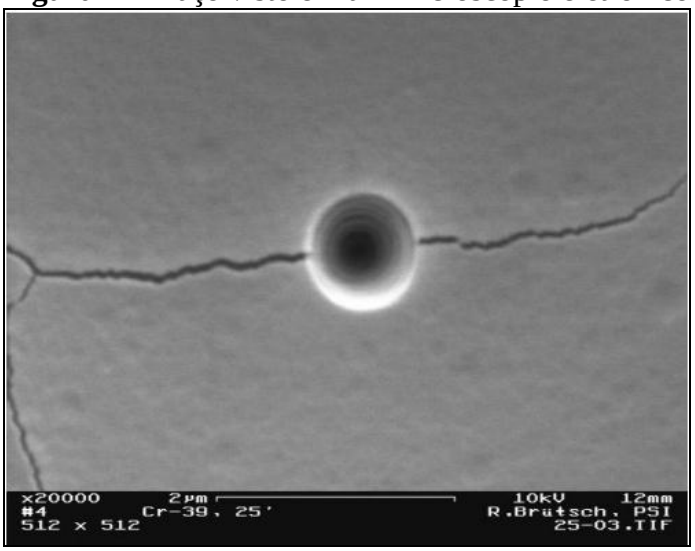
Tipo de detector	País da pesquisa	Autor/ano do estudo
Detectores de estado sólido de traços nucleares (SSNTD)	Canadá	Fintan et al., 2017
Câmara de Ionização de Eletreto (CIE)	Canadá	Sarkar et al., 2017
Detectores de estado sólido de traços nucleares (SSNTD)	Hungria	Műllerová et al., 2016
Detectores de estado sólido de traços nucleares (SSNTD)	Romênia	Cucos et al., 2016
Termoluminescente - TLD	Brasil	Bezerra, 2015.
Câmaras de Ionização de Eletreto (CIE)	Brasil	Campos et al., 2013a
Câmaras de Ionização de Eletreto (CIE)	Brasil	Campos et al., 2013b
Câmaras de Ionização de Eletreto (CIE)	Brasil	Brito, 2013.

Fonte: os Autores (2018).

Foram identificados vários tipos de detectores utilizados pelos pesquisadores para medir o radônio, dentre os principais estão os Detectores de Estado Sólido de Traços Nucleares (SSNTD) também chamados de Detector de traços para partícula alfa – DTPA e Câmaras de Ionização de Eletreto – CIE.

Segundo a OMS (2016) o DTPA ou SSNTD funciona quando a radiação alfa emitida pelo radônio ou seus produtos de decaimento está perto do material de detecção, essa radiação alcança o material produzindo traços latentes (áreas com danos microscópicos) (figura 1). Se esse material for sujeito a ataque químico, a corrosão química do mesmo faz com que aumente o tamanho dos traços, se tornando visível ao microscópio ótico e permitindo a sua contagem. Com essa contagem e outros cálculos (subtraindo a contagem de fundo) tem-se a concentração do radônio, sendo o número de traços por unidade de superfície diretamente proporcional à concentração de radônio em $Bq.h/m^3$. Em uma câmara de calibração permite converter a densidade de traços em concentrações de radônio, usando um fator de conversão.

Figura 1 - Traço visto em um microscópio eletrônico



Fonte: PUGLIESI (2008).

Uma das grandes vantagens dos DTPA é a sua insensibilidade à umidade, temperatura e radiações beta e gama de fundo. Eles são popularmente usados em domicílios em medições em longo prazo, e frequentemente instalados para um período de exposição de 1 mês a 1 ano (OMS, 2016).

As câmaras de ionização de eletreto (Figura 2) são dispositivos passivos de baixo custo e que usam métodos eficientes para a medição do radônio. Os eletretos são discos de teflon integradores que funcionam como fonte de campo elétrico e também como sensor na câmara, coletando e registrando a geração de íons do radônio. Os produtos resultantes do decaimento do radônio não conseguem entrar na câmara, por ali existir um filtro que só permite a entrada do mesmo. O que é recolhido pelos eletretos positivos são os íons negativos formados pela emissão da radiação por esse gás. A concentração dele nesse processo vai ser medida a partir dos volts da descarga dos eletretos ao longo de um intervalo de tempo, e esses volts é medido por meio de um leitor com bateria que funciona sem contato. Juntamente com o valor de volts e de fatores de duração e calibração, consegue-se a concentração de radônio nas unidades esperadas (OMS, 2016).

Uma das vantagens maiores desses dispositivos é a sua utilização tanto em períodos de curta duração (de 2 a 15 dias) como em períodos de medição de longo prazo (de 3 a 12 meses) (OMS, 2016).

Figura 2 - Câmaras de Ionização de Eletreto

Fonte: Sarkar et al. (2017).

Na tabela 03 estão relacionados os dados em relação ao período de medição feita com cada um dos detectores e o grupo de pesquisadores que analisaram o nível de radônio nas residências.

Tabela 03 - Tempo de medição da concentração de radônio nas residências empregado pelos pesquisadores dos estudos selecionados.

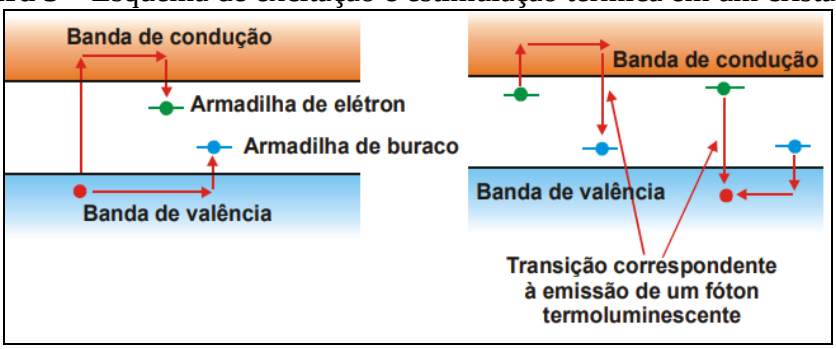
Pesquisadores/ano	Tempo de medição/detector
Fintan et al., 2017	3 meses/ SSNTD
Sarkar et al., 2017	4-5 meses/ CIE
Műllerová et al., 2016	1 ano/ SSNTD
Cucos et al., 2016	3 e 6 meses/ SSNTD
Bezerra, 2015	3 meses / TLD
Campos et al., 2013a	3 meses/ CIE
Campos et al., 2013b	4 meses/ CIE
Brito, 2013	5 dias / CIE

Fonte: os Autores (2018).

Observa-se na Tabela 03 que as CIE foram usadas por um período variando de alguns dias até 5 meses, já os SSNTD foram utilizados no tempo de medição variando de 3 meses à 1 ano. Segundo a OMS (2016) esse tempo, para ambos os detectores, é o que frequentemente é empregado nas pesquisas, apesar das CIE também serem utilizado em longo prazo. Os TLD foram utilizados por um período de 3 meses.

De acordo com Tauhata et al. (2013) os TLD funcionam a partir do processo de emissão de luz e logo após ocorre o aquecimento, ou seja, se baseiam no principio de que certos matérias tendem a emitir luz ao interagir com a radiação. Acontecendo no seu processo de detecção a excitação e a desexcitação, e quando feito esse ultimo, emitem o excesso de energia conseguido, na forma de luz (Figura 3). Porém, apenas com o aquecimento do cristal com determinada temperatura essa energia é liberada em forma de luz, e para essa luz ser enviada para uma leitora é necessário uma fotomultiplicadora, que converterá essa energia em corrente elétrica, e assim quantificada em níveis de radiação.

Figura 3 – Esquema de excitação e estimulação térmica em um cristal TL



Fonte: Tauhata et al. (2013).

A importância da verificação em longo prazo se mostra necessária pelo fato das variações que as estações do ano trazem para as oscilações dos níveis de radônio em determinado local, como mostra no estudo de Mullerová et al. (2016) que verificou no período de um ano como os níveis foram diferentes, e constatou que na estação do inverno o radônio tinha uma concentração nas residências bem maior do que em outras estações, como mostrado no verão, observando umas das mais baixas concentrações desse gás.

Os resultados encontrados por Campos et al. (2013a) e Campos et al. (2013b) também confirmaram as oscilações dos níveis de concentração do radônio devido as mudanças climáticas, suas medições foram em 2 períodos, e pode-se perceber na primeira medição valores altos e diferente da segunda, onde seus níveis foram mais dispersos, principalmente por ter ocorrido chuvas no segundo período, porém apesar disto, a média dos níveis para o radônio ainda foram altas, de acordo com as recomendadas pela OMS.

Os níveis encontrados pelo pesquisador Brito (2013) mostraram altos índices de radônio, com um valor superior a 4 pCi/L e em outros pontos analisados maiores de 1 pCi/L. Características da habitação podem influenciar para o aumento deste gás, como pisos, poços,

porões, ventilação e sistemas de aquecimento como foi constato por Sarkar et al. (2017) em que 28% das residências avaliadas estavam com índices acima do recomendado.

Bezerra (2015) constatou que os detectores TLD permitiram estimar a dose de radônio interno de residências instalado por 3 meses em várias cidades do Estado da Paraíba no Brasil, uma em especial (a principal do estudo) apresentou índices que variaram entre 0,71 a 2,07 $mSv.a^{-1}$ de dose equivalente efetiva, sendo este valor de referência aceito. Os valores das médias obtidas em todas as casas do estudo para as taxas de doses nos ambientes fechados foram similares, cujo valor referenciado foi de 0,99 mSv.a-1.

Um estudo na Romênia que averiguou o nível de radônio de casas, solos e da água, usando os DTPA no nível do piso térreo das habitações, concluiu que as concentrações dentro das residências variaram de 5 a 2592 Bq/m^3 com uma média de 133 Bq/m^3. Em cerca de 6%, as concentrações internas de radônio excederam o limiar de 300 Bq/m^3. Para garantir a qualidade dos dados obtidos por detectores passivos foram aplicados vários programas, e também testados em laboratório. Quando feita as medições os detectores foram armazenados conforme recomendava o fabricante (CUCOS et al. 2016).

Fintan et al. (2017) com o objetivo de analisar as concentrações de radônio interno e seus fatores de risco num estado do Canadá, mediu a concentração do radônio em 2382 residências, evidenciando que os valores encontrados foram altos, segundo estabelecido normas próprias do País, uma concentração de 126 Bq/m^3, equivalendo a 3,2 mSv de dose equivalente absorvida ao ano.

CONCLUSÃO

Esta revisão de literatura pôde proporcionar uma noção sobre os detectores empregados para detecção do radônio interno de residências, visto que, utilizou-se de estudos recentes, tanto nacionais como internacionais para abranger o conhecimento do público em geral como também dos pesquisadores interessados no tema.

Devido o radônio oscilar por fatores climáticos a sua medição não é indicada para realização em curto prazo, podendo ocorrer interpretações e resultados imprecisos. O modo mais correto é uma avaliação em longo prazo que mostre a dose especifica levando em consideração as estações do ano.

Há inúmeros detectores usados para calcular a dose do radônio em ambientes fechados de residências, o detector ideal vai depender de vários fatores, tais como o tipo de dispositivo de medição, do período que vai ser usado para o estudo e das condições ambientais do local

que vai ser analisado. Recomendam-se estudos mais aprofundados sobre a temática para comprovação da eficácia desses tipos de dispositivos.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, J. D. **Dosimetria termoluminescente na avaliação da dose "indoor" das residências do Município de São José de Espinharas-PB**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. - Recife: O Autor, 2015.

BRASILEIRO, A. M. M. **Manual de produção de textos acadêmicos e científicos**. São Paulo: Atlas. 2013.

BRITO, A. S. **Medição de concentrações de radônio em ambientes da Região Metropolitana de Salvador, BA**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Medicina da Bahia - Salvador: 2013. Pag. 54-60.

CAMPOS, T.F.C.; PETTA, R.A.; MALANCA, A.; PASTURA, V.F.S.; SICHEL, S.E. ; MOTOKI, A. O gás radônio e a radiação natural em terrenos metagraníticos e pegmatíticos: o caso do município de Lages Pintadas (Rio Grande do Norte, Brasil). **Revista de Geologia**, Vol. 26 (2), 2013a.

CAMPOS, T.F.C.; PETTA, R.A.; MALANCA, A.; PASTURA, V.F.S.; SICHEL, S.E. ; MOTOKI, A. O Gás Radônio Doméstico e a Radioatividade Natural Em Terrenos Metamórficos: o Caso do Município de Lucrecia (Rio Grande do Norte, Brasil). **Revista de Geologia**, Vol. 26 (2), 2013b.

CUCOS, A. et al. Residential, soil and water radon surveys in north-western part of Romania. **Journal of Environmental Radioactivity** – 166. 412 – 416, 2017.

FINTAN, K.T. et al. Comprehensive survey of household radon gas levels and risk factors in southern Alberta. **CMAJ OPEN**, 5(1), 2017.

MŰLLEROVÁ, M. et al. Indoor radon survey in Visegrad countries. **Applied Radiation and Isotopes** 110, p. 124–128, 2016.

OMS - Organização Mundial de Saúde. **Manual sobre radônio em ambientes internos: uma perspectiva de saúde pública** / editado por Hajo Zeeb e Ferid Shannoun. – São Paulo, SP : 1ª Edição, 2016.

PUGLIESI, F. **Caracterização do polímero Durolon como detector de traços nucleares de estado sólido**. (Tese). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN - São Paulo, 2008.

SARKAR, A.; WILTON, D.H.C.; FITZGERALD, E. Indoor radon in micro-geological setting of an indigenous community in Canada: A pilot study for hazard identification. **Int J Occup Environ Med** 2017.

TAUHATA, L., SALATI, I. P. A., DI PRINZIO, R., DI PRINZIO, M. A. R. R. **Radioproteção e Dosimetria**: Fundamentos - 9ª revisão novembro - Rio de Janeiro - IRD/CNEN, 2013.

UNEP, United Nations Environment Programme. **Radiação**: efeitos e fontes, Programa Das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2016.

WHO - World Health Organization. **International Radon Project Survey on Radon Guidelines, Programmes and Activities**. WHO, Geneva, 2007.