



O gás radônio e suas implicações para a saúde pública

R.A. Petta^{1,2}; T. F. C. Campos^{1,2}

Recebido 20 de dezembro de 2013/ Aceite em 04 de fevereiro de 2013

¹LAGEOMA- Laboratório de Geomática - Depto de Geologia UFRN - Campus Universitário - Natal (RN) 59072-970 - petta@ccet.ufm.br ²LARANA - Laboratório de Radioatividade Natural - Depto de Geologia UFRN - Campus Universitário - Natal (RN) 59072-970 - tcampos@geologia.ufm.br

Resumo

Os seres humanos e seu ambiente têm sido expostos à radiação proveniente de fontes naturais e artificiais. Na natureza a exposição ocorre através de isótopos radioativos geogênicos presentes em minerais e rochas, raios cósmicos, etc., e nos materiais antropogênicos através de dejetos e usinas, artefatos nucleares em geral, aparelho de raios-X, etc. A radioatividade pode provocar o desenvolvimento de tumores, leucemia, indução às mutações genéticas (mutagênese), malformações fetais, destruição de tecidos vivos, de glândulas e de órgãos do sistema reprodutivo. Neste artigo apresentamos uma revisão dos conceitos e avaliações referentes a este assunto, visando suprir as informações àqueles ainda não familiarizados ao tema, ao mesmo tempo em que possamos introduzir esclarecimentos a pesquisadores de áreas conexas, mas que não se dedicam ainda a esta linha de pesquisa.

Palavras chaves: Radônio, Radioatividade Natural.

Abstract

Humans and their environment have been exposed to radiation from natural and artificial sources. In nature exposure occurs through sources of geogenic radioactive isotopes of minerals and rocks, cosmic rays, etc., and anthropogenic materials through waste and industrial plants, nuclear devices in general, X- ray equipment, etc. The radioactivity can cause the development of tumors, leukemia, inducing genetic mutations (mutagenesis) malformations, destruction of living tissues, glands and organs of the reproductive system. In this article we present an overview of the concepts and reviews relating to this subject, aiming to supply the information to those not yet familiar to the subject, while we can introduce clarifications to researchers in related fields, but are not yet engaged in this line research.

Keywords: Natural Radioactivity, Radon

HISTÓRICO

Rutherford, em 1904, notou que os compostos de tório liberavam um gás radioativo, que ele chamou de “emanação do tório”. Em 1900, Friedrich Ernest Dorn (1848-1916) verificou o mesmo fato com o rádio, denominando o gás de “emanação do rádio”. Esses fatos eram notáveis porque a radioatividade era até então apenas conhecida em compostos sólidos (e suas soluções). Em 1901, Rutherford em um experimento determinou a massa molar da “emanação do rádio” (embora longe da realidade). Esse experimento pode ser considerado o primeiro isolamento bem-sucedido do radônio, por isso, pode ser mais correto creditar a Rutherford a descoberta do novo elemento, em contraposição à maioria das referências que dão o pioneirismo para Friedrich Dorn (Afonso J. C., 2009). O isolamento do radônio em quantidades visíveis (da ordem de $0,1 \text{ mm}^3$) ocorreu pela primeira vez em 1910, por Ramsay e Robert Whytlaw-Gray (1887-1958). Eles verificaram que o radônio era o gás mais denso conhecido e estimaram a massa molar em torno de $222,5 \text{ g/mol}$. Em 1923, com base nas propostas de Curt Schmidt (1918) e Elliot Quincy Adams (1920), a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) adotou as seguintes denominações: “emanação do rádio” – radônio (do latim *radonium*, derivado do rádio, símbolo Rn). Mais tarde, com a estruturação do conceito de isótopo, notou-se que as emanações pertenciam a um mesmo elemento químico. Rn corresponde ao isótopo ^{222}Rn (meia vida 3,823 dias), Tn é o isótopo ^{220}Rn (meia vida 55,6 segundos), e An se trata do isótopo ^{219}Rn (meia vida 3,96 segundos). Todos eles desintegram-se emitindo partículas alfa, produzindo isótopos do elemento polônio ($Z = 84$). O nome do elemento foi fixado como radônio em função do isótopo ^{222}Rn ser o de meia vida mais longa.

O radônio é um elemento que apresenta três isótopos de curta duração; o mais longo, derivado do urânio (a derivação do urânio dá origem ao rádio que emana o radônio) e de meia vida de aproximadamente três dias. A atmosfera terrestre apresenta traços do radônio que se desprendem da Terra sendo um elemento raro em nosso planeta. Estima-se sua abundância na atmosfera da Terra em uma parte por sextilhão. Esta escassez faz com que os estudos sobre o radônio sejam dificultados, pois não se tem muitas pesquisas experimentais sobre suas reações.

O radônio está presente na família dos gases nobres e possui número atômico 86, símbolo químico Rn, apresenta-se em aspecto gasoso sendo incolor, inodoro, insípido. Mais pesado que o ar e com configuração eletrônica estável, mas do ponto de vista químico não se torna completamente inerte, formando o fluoreto de radônio, sendo mais estável que outros compostos formados por gases nobres radioativos como o criptônio e o xenônio. Sendo um gás, este pode se difundir no ambiente humano se espalhando pelo solo, mananciais, construções e continuando sua fissão emitindo partículas alfa e após sua breve vida transformando-se em polônio.

Muitas águas minerais e termais contêm radônio, e as águas subterrâneas contêm mais radônio do que as superficiais devido à reposição constante, principalmente pelo decaimento do rádio. O radônio aparece também em alguns subprodutos do petróleo, concentrando-se especialmente nas linhas de produção do propano (pontos de ebulição próximos). Segundo a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), cerca de 55% da radiação incidente sobre o ser humano provém do radônio e de seus produtos de decaimento, mas a concentração desse gás no ar varia muito de lugar para lugar devido à variabilidade da composição do solo e das rochas.

ARADIOATIVIDADE

Tudo que existe na natureza tende a permanecer num estado estável. Os átomos instáveis passam por um processo que os tornam mais estáveis. Este processo envolve a emissão do excesso de energia do núcleo e é denominado radioatividade ou decaimento radioativo. Portanto, a radioatividade é a alteração espontânea de um tipo de átomo em outro com a emissão de radiação para atingir a estabilidade. (IPEN, 2002)

A energia liberada pelos átomos instáveis, radioativos, é denominada radiação ionizante. Os termos radiação e radioativo frequentemente são confundidos. Deve-se ter sempre em mente que estes dois termos são distintos: - átomos radioativos são aqueles que emitem radiação.

Existem três tipos principais de radiação ionizante emitida pelos átomos radioativos: (i) Alfa – α , (ii) Beta - β e (iii) Gama – γ . As radiações alfa e beta são partículas que possuem massa e são eletricamente carregadas, enquanto os raios gama são ondas eletromagnéticas. (IPEN, 2002)

Dentre as radiações ionizantes, as partículas alfa são as mais pesadas e de maior carga e por isso elas são menos penetrantes que as partículas beta e a radiação gama. As partículas alfa são núcleos do átomo do gás hélio e são completamente barradas por uma folha comum de papel e seu alcance no ar não ultrapassa mais que 10 a 18 cm. Mesmo a partícula alfa com maior alcance (com maior energia) não consegue atravessar a camada morta da pele do corpo humano. Portanto, a partícula alfa originada fora do corpo do indivíduo não oferece perigo à saúde humana. Por outro lado, se o material radioativo emissor de partícula alfa estiver dentro do corpo ele será uma das fontes mais danosas de exposição à radiação. A partícula alfa quando emitida internamente ao corpo do indivíduo

depositará sua energia em uma pequena área, produzindo grandes danos nesta área e após isto os processos de mutagênese se encarregam de replicar as células afetadas (IPEN, 2002).

Atividade é a grandeza utilizada para expressar a quantidade de um material radioativo e representa o número de átomos que se desintegram, por unidade de tempo. A unidade empregada é o becquerel (Bq). Uma taxa de desintegração de 1 desintegração por segundo, 1 dps, é definida como sendo igual a 1 Bq. (IPEN, 2002).

FONTES NATURAIS E ARTIFICIAIS DE RADIAÇÃO

Os seres humanos e seu ambiente têm sido expostos à radiação proveniente de fontes naturais e artificiais. Essas radiações não são diferentes entre si, seja na sua forma, ou nos seus efeitos. Atualmente sabe-se que aproximadamente metade da radiação a qual o homem está exposto, provém da radiação cósmica, enquanto que outra parte significativa tem origem a partir do solo, rochas, da água e do ar (origem terrestre). A radiação natural é inevitável e tem sido recebida pelo homem e seu ambiente, ao longo de toda a sua existência. Os níveis de radiação terrestre diferem de lugar para lugar, já que as concentrações destes materiais na crosta terrestre podem variar. Há certos lugares que recebem mais radiação cósmica do que outros, como por exemplo, as regiões polares. Verifica-se também que a intensidade dessa radiação aumenta com o aumento da altitude. (IPEN, 2002).

A radiação natural contribui com aproximadamente 81% da dose anual recebida pela população e os 19% restantes advêm das fontes artificiais de radiação. Na figura 01 se pode observar que a maior parte (55%) da dose anual por fontes naturais de radiação é proveniente do radônio que está presente, principalmente, nos materiais de construção.

No caso das doses provenientes de fontes artificiais (18%) a maior contribuição é devida a exposição aos raios-X para fins médicos (11%). Pode-se verificar também que as doses

decorrentes do ciclo do combustível nuclear para obtenção de energia elétrica são muito pequenas, quando comparadas com as demais. (IPEN, 2002 e EPA, 2013).

Ionizing Radiation Exposure to the Public

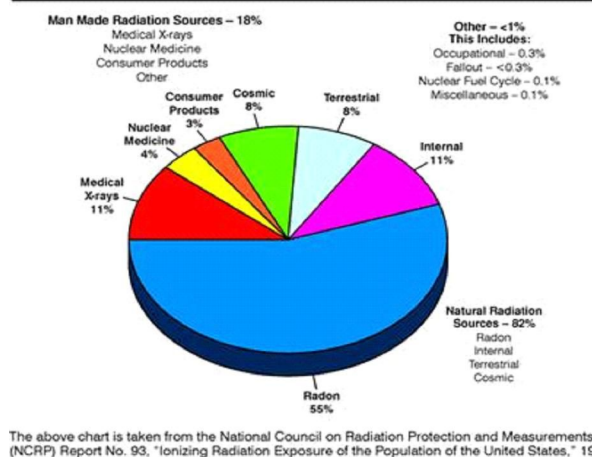


Fig. 01 - Tipos de radiação proveniente de fontes naturais e artificiais (IPEN 2002)

Um tema que vem despertando muito interesse científico e social é a real possibilidade de ocorrência de exposições à radiação em função de atividades não-nucleares. De fato, materiais usados por diferentes tipos de indústrias não-nucleares (como matérias-primas e componentes de produtos, ou descartados nos processos produtivos) apresentam elevada radioatividade natural. Tais materiais são

conhecidos internacionalmente pela sigla NORM (de *Naturally Occurring Radioactive Materials*, ou seja, materiais em que a radioatividade ocorre naturalmente). Os processos industriais a que tais materiais são submetidos podem aumentar a concentração de elementos radioativos (e, portanto, os níveis de radiação emitida) e a exposição de trabalhadores e indivíduos do público à radioatividade.

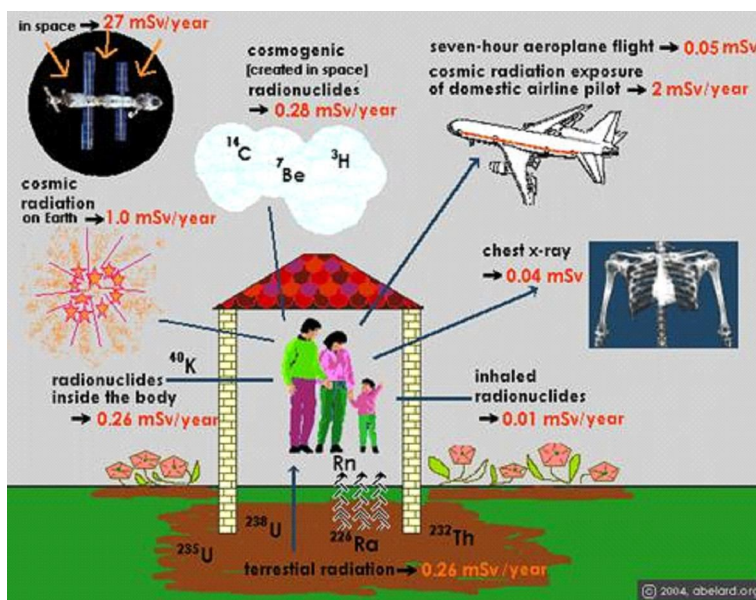


Fig. 02 - Algumas fontes de radioatividade a que estamos expostos (Fonte: WHO)

OS EFEITOS DA RADIOATIVIDADE NO CORPO HUMANO

Na literatura médica, o câncer é um dos problemas mais associados à radiação. Isso porque a radioatividade pode alterar o ‘relógio biológico’ das células, fazendo com que cresçam desordenadamente, formando tumores. (sites 14,15)

Radônio - esse inimigo oculto é a maior fonte de radioatividade natural, sendo considerada a segunda causa de câncer de pulmão, após o tabagismo e a primeira causa conhecida de câncer de pulmão em não fumantes, com taxas estimadas em 25 a 30% dos casos em não fumantes. (WHO 2009, 2011) O câncer de pulmão é o mais frequente no mundo, e o que mais mata. Por ano, o número de casos novos atinge 1.600.000 e a doença mata cerca de 1.400.000 pessoas. No Brasil, a estimativa é de 28.000 novos casos ano, sendo que 22.000 morrem anualmente por esse tipo de câncer (sites 15, 16).

O radônio apresenta pouco poder de penetração, que não é capaz de atravessar a nossa pele, mas pode ser inalado, e quando isso acontece esta falta de poder de penetração faz com o radônio não consiga sair do nosso corpo, depositando-se em nosso pulmão podendo causar lesões de diversos gêneros e graus (site 17). O risco do radônio se deve à inalação. Embora as partículas alfa tenham pouco poder de penetração, elas são altamente ionizantes. Nos pulmões, além de liberar toda a energia contida durante a desintegração atômica, provocando lesões cuja gravidade varia conforme a quantidade inalada do gás, os produtos dessa desintegração – sólidos: polônio, chumbo etc. – são altamente tóxicos tanto do ponto de vista químico como radiológico (Afonso J. C., 2009).

Para as pessoas que vivem em determinadas áreas dos EUA, a ameaça que o

gás radônio representa não é nenhuma novidade. Ele é radioativo e, em casas que não deixam o ar circular, pode se acumular em concentrações que trazem riscos à saúde. Caso ele seja inalado e entre em seus pulmões, seu decaimento pode aumentar suas chances de contrair câncer de pulmão. De acordo com um estudo relatado em 1990 pelo National Safety Council, Conselho Nacional de Segurança dos EUA, estima-se que cerca de 16 mil mortes por ano podem ser atribuídas ao radônio e que esse número ainda pode variar de 7 a 30 mil. A Agência Norte-Americana de Proteção ao Meio Ambiente (US EPA) calcula que o radônio é a segunda causa de morte de câncer pulmonar nos Estados Unidos (21 mil mortes/ano), perdendo apenas para o cigarro. Essa substância é agente cancerígeno classe I para o homem segundo a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC 2012).

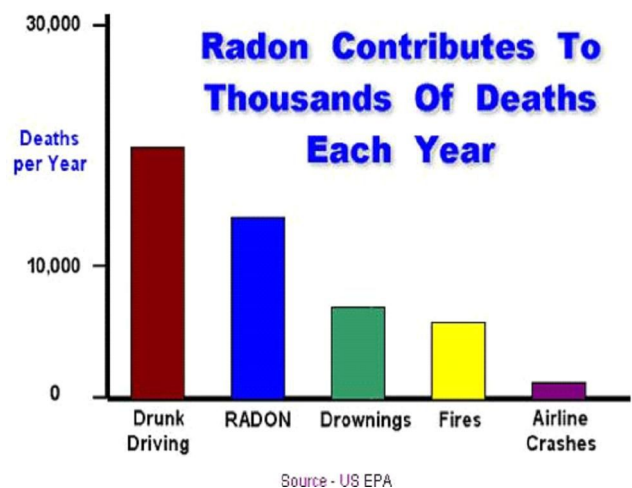


Fig. 03 - Gráfico demonstrando a relação entre as diversas causas mortis/ano no USA. Pode-se notar que o Radônio (Radon) aparece em 2º lugar, só perdendo para acidentes com motoristas alcoolizados. (WHO e EPA)

O RADÔNIO – ALERTA DE RISCO

O radônio é um gás radioativo presente em solos e certas rochas e que sobe à superfície através de poros e fissuras. Nas rochas e minerais brutos, o radônio dificilmente escapa,

pois fica enclausurado na estrutura da rocha, mas a decomposição, britagem e a pulverização destas rochas facilitam sobremaneira a sua liberação. Como ele é mais denso que o ar, ele tende a se difundir pelas camadas baixas da atmosfera, depositando seus produtos de desintegração sobre a vegetação, cursos d'água e solos (Afonso J. C., 2009).

Em 1879, relacionaram-se aos mineiros de minas de urânio, as primeiras mortes ou estados de invalidez e cânceres pulmonares. As suspeitas sobre o radônio surgiram pela primeira vez em 1921, sendo confirmadas na década seguinte. Em 1926, os governos da então Tchecoslováquia e da Alemanha reconheceram que a doença que afetava os mineiros era o câncer pulmonar. Seis anos depois, era considerada doença ocupacional passível de aposentadoria por invalidez. (Afonso J. C., 2009).

Nos anos 1980, nos Estados Unidos, surgiu uma nova preocupação envolvendo o radônio: o acúmulo ("build up") em áreas habitadas. Apesar de o radônio difundir-se e acumular-se em ambientes com pouca ventilação (como cavernas e minas), também foram detectadas altas concentrações em residências (áreas confinadas e próximas ao chão), dependendo da composição do solo sobre o qual se acha o prédio e do uso de materiais de construção e decoração contendo elementos radioativos. Como o radônio emana dos solos e rochas, possui a tendência de ocorrer em maiores concentrações em pavimentos térreos e nos andares inferiores dos edifícios de casas, e porões (Afonso J. C., 2009).

O radônio está no mundo todo, e seu grau de concentração depende da presença de urânio na fonte. Ao ar livre, o radônio não é um risco importante para a saúde, porque se dilui no ambiente. No entanto, uma concentração superior a 4 picocuries por litro de ar (EPA, 2003) em um ambiente fechado é uma concentração perigosa.

Concentrações elevadas de radônio podem ser resultantes da penetração permanente do gás em edificações, através de rachaduras ou poros no solo e em paredes, fendas em alicerces, paredes, encaixes de assoalhos, canos e tubos (elétricos e hidráulicos), entre outros.

A desintegração do radônio gera partículas alfa radioativa que permanecem no ar e podem ser posteriormente inaladas, depositando-se no epitélio das vias aéreas (Fig 04). Tais partículas causam um dano direto ao DNA, e podem resultar em câncer de pulmão (EPA, 2012).

RADÔNIO E A SAÚDE

Segundo a WHO (2009, 2011) entre 3 e 14% das mortes por câncer de pulmão estão relacionadas à exposição ao radônio. Cerca de 15% dos casos de câncer de pulmão ocorrem em indivíduos que nunca fumaram, ativa ou passivamente! Esses números aumentaram nos últimos anos em vários países. Um estudo realizado na França mostrou um preocupante aumento de câncer de pulmão em não fumantes nos últimos 10 anos. Embora a poluição ambiental, a exposição ao asbesto e fatores genéticos tenha, sido relacionados como possíveis causas de câncer de pulmão, a exposição ao radônio tem sido a segunda principal causa de câncer de pulmão depois do tabagismo, e a primeira causa em não fumantes.

Não há relatórios sobre os efeitos ou os sintomas em curto prazo causados pela exposição ao radônio. Apesar de o radônio ser a principal fonte de radiação externa natural e já ser conhecido como carcinógeno humano I, o mais alto grau, pela Agência Internacional de Pesquisa do Câncer (IARC) ele não oferece, inicialmente, riscos significativos à saúde. Quanto a períodos mais longos, o principal efeito relatado é o câncer de pulmão. O problema reside nos produtos gerados pelo decaimento radioativo dele, que são

sólidos e, quando inalados (evaporação), vão para o trato respiratório e permanecem ali em processo de desintegração.

Dentro de residências, o gás vai se alojar em local fechado e se acumular. Ali, ele começa a decair em filhos radiogênicos, que vão aderir às partículas de poeira presentes no ambiente, e que podem ser inaladas pelas pessoas presentes neste ambiente (Fig 04). Estas partículas ficarão presas ao trato respiratório ou podem se alojar nos pulmões gerando efeitos biológicos, que podem evoluir para um câncer de pulmão, dependendo da quantidade inalada. Quando é inalado, um átomo de radônio como possui uma meia-vida muito curta, pode se desintegrar

enquanto está ali dentro, tornando-se polônio-218 (^{218}Po), que é um metal. Esse átomo de metal se deposita nos pulmões e, durante a próxima hora, irá emitir várias partículas alfa, beta e raios gama. Posteriormente, ele se transforma em chumbo-210 (^{210}Pb), que tem uma meia-vida de 22 anos e é relativamente estável. Mas isso não muda o fato de que agora existe um átomo de chumbo no corpo, algo que pode causar problemas. É a sequência rápida de uma hora em que partículas alfa, beta e gama são emitidas, que podem levar às mutações do tecido do pulmão responsáveis por causar o câncer. Além disso, fumar em excesso aumenta o risco de câncer de pulmão provocado pela exposição ao radônio.

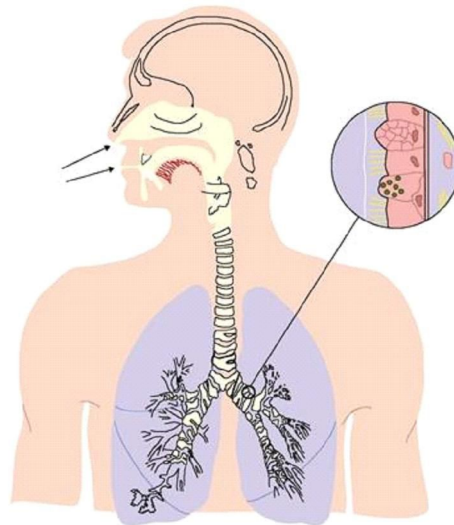


Fig. 04 - Radônio como causa de Câncer de pulmão (EPA)

COMO O RADÔNIO ENTRA EM UMA CASA

Certa quantidade de gás radônio pode ser encontrada em quase todas as construções que estão em contato com o solo, principalmente em regiões de rochas graníticas. Os fatores que afetam os níveis de Radônio em construções incluem a quantidade de urânio no solo ao redor da casa, a entrada de pontos disponíveis em sua casa (rachaduras na fundação, espaços de rastreamento, etc.) e a forma como a casa é

ventilada. Quando o gás radônio escapa do chão ao ar livre fica diluído e não representa um risco para a saúde. No entanto, em alguns espaços confinados, como casas, o radônio pode se acumular a níveis relativamente elevados e tornar-se um perigo para a saúde.

Como destacamos no tópico anterior, os átomos de radônio têm uma vida relativamente curta e se tornam átomos de chumbo após alguns dias.

No entanto, enquanto é um átomo de radônio, ele é um gás. Dessa forma, consegue penetrar pelo solo e se misturar ao ar de uma casa. A principal maneira que o radônio usa para entrar em uma casa é por meio do alicerce (espaços entre o solo e o assoalho, porões), e também por vários outros caminhos diferentes: rachaduras no assoalho de subsolos, piso de terra, rachaduras em paredes e em pisos de fundação, fossas, lacunas em torno

das tubulações, porão, drenos, bombas de esgoto, solo exposto, pontos de ligação da construção (argamassa, ligação entre o chão e a parede), canos frouxos ou soltos, etc. (Fig. 05) O radônio também pode entrar em uma casa preso em águas de poços, e pode ser liberado no ar quando a água é utilizada, mas é uma fonte de infiltração muito pequena se comparada ao alicerce.

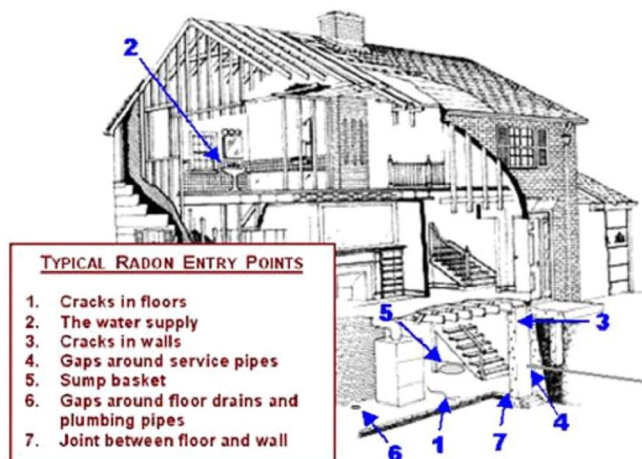


Fig. 05 - São apresentados aqui os principais condutos que podem levar o radônio do solo até o interior das casas (Fonte: WHO e EPA)

Nos EUA, já foram detectadas algumas partes do país onde o radônio existe em maior quantidade do que em outras. Para informar aos cidadãos, a EPA (Agência de Proteção Ambiental

dos EUA), possui um site com mapas interativos que exibem quais condados e estados têm os maiores níveis médios de radônio e as médias de concentração por região.

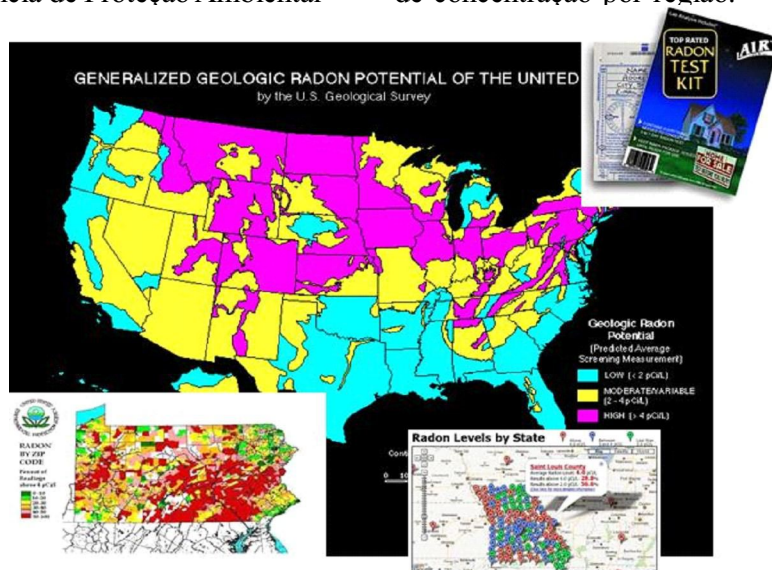


Figura 06: Exemplos de mapas encontrados em sites do USA e que apresentam de forma dinâmica a distribuição espacial das concentrações de Radônio no país e em estados individualmente. No canto superior direito temos um exemplo de Kits de Teste de Radônio que são vendidos em lojas e supermercados (sites de internet).

PREVENÇÃO E CUIDADOS

Diferente da Europa, USA e outros países, que devido ao clima frio na maior parte do ano, o ambiente interior das residências é mantido fechado por longo tempo, o Brasil é um país privilegiado por possuir um clima tropical, onde mesmo no inverno as portas e janelas das residências são mantidas abertas facilitando a ventilação do ambiente. Entretanto pelo fato de que dados epidemiológicos detectem um aumento de incidência de câncer de pulmão, relacionado diretamente à anomalias na concentração do radônio (EPA 2009 e WHO 2006) algumas medidas com as residências em áreas de solos graníticos, devem ser encorajadas. A única maneira de saber se temos um problema de Radônio é testando e medindo os índices de radônio. Se o nível de radônio é alto, devemos tomar medidas para reduzi-lo. Quanto maior o nível, mais cedo ele precisa ser corrigido.

A redução dos níveis de radônio em uma casa é fácil e com preços razoáveis. Ações devem incluir primeiramente aumentar a ventilação para permitir a troca de ar, vedar todas as fendas e aberturas das paredes de fundação e pisos, e nas laterais de tubos e drenos, e (se houver) renovar pisos de porões e cômodos subterrâneos existentes, principalmente coberturas em pisos de terra.

O método padrão para a redução de radônio em uma casa é chamado de despressurização do solo ativo. Um tubo é instalado através do andar base e é ligado ao lado de fora da residência. Um ventilador ligado ao tubo vai retirar o radônio de debaixo da casa, antes que ele chegue dentro, e liberá-lo do lado de fora, onde ficará diluído. Em função deste problema, já existem medidas governamentais preventivas na Europa e nos Estados Unidos. Há uma norma americana, por exemplo, que determina que toda casa deva ser construída sobre uma manta anti-radônio e todo

loteamento precisa ser avaliado antes, quanto à presença dele. Quem for vender uma casa tem de apresentar um laudo oficial de medida de radônio.

Estas decisões levaram ao desenvolvimento de instrumentos de coleta e medição desse gás para uso doméstico, e hoje no EUA já se pode comprar no supermercado um kit que permite medir a concentração interior de radônio nas casas (Fig 06). A Organização Mundial de Saúde (OMS ou WHO) admite uma concentração máxima de radônio no ar equivalente a 100 Bq/m³ e sugere medidas de precaução se a radioatividade devida ao radônio exceder 0,1 Bq/L na água potável.

No Brasil, existem estudos que identificam algumas áreas com índice elevado de radônio, onde as construções analisadas apresentaram concentrações do radônio superiores ao limite de 150 bq, definido como o limite de segurança pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP), além de outras áreas com índices muito acima do permitido, como é o caso de Poços de Caldas, onde se localiza a primeira mineração de urânio brasileira.

Segundo a OMS, o radônio expõe todos os povos a um risco sanitário que pode ser facilmente prevenido, mas que, até agora, era tratado como um assunto que não chamava a atenção. Para fazer frente a este fator de risco, a OMS lançou um projeto internacional, de três anos de duração, para ajudar os países a reduzir os riscos sanitários associados ao radônio. Entre as medidas concretas que serão propostas, destacam-se a avaliação de riscos, a adoção de normas para reduzir a exposição e a concentração do referido gás, assim como as campanhas de sensibilização dirigidas aos políticos e às opiniões públicas em geral. Por isso, as medições periódicas são importantes em casas e demais ambientes

fechados, para que esse risco possa ser melhor estimado, e medidas preventivas possam ser tomadas.

Outras medidas sugeridas em casos de alta concentração de radônio, além da despressurização do solo, é a selagem de pisos e paredes, tratamento de água contaminada, aumento da ventilação de porões, aumento da ventilação interna e aumento do movimento do ar.

O FUTURO DA RADIOPROTEÇÃO

O aumento da radioatividade ambiental provocado por atividades humanas é um tema sujeito à intensa investigação. Atividades antes insuspeitas podem ser vistas hoje como fontes potenciais de exposição. Por isso, vários trabalhos científicos têm sido publicados sobre esse assunto e novas tecnologias de medida de radiação vêm sendo desenvolvidas. Também estão sendo estudadas regulamentações para restringir os riscos associados a essas exposições. Todos esses aspectos, porém, ainda são debatidos intensamente na comunidade científica internacional.

Para ampliar a discussão dessa questão no país, o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) e a Sociedade Brasileira de Biociências Nucleares (SBBN) realizam encontros e discussões dos aspectos relacionados ao monitoramento desses materiais, às técnicas de medida, à avaliação das exposições de indivíduos do público e trabalhadores, à experiência dos setores industriais, à recuperação de áreas contaminadas e à legislação sobre o problema.

REFERÊNCIAS

- AFONSO J. C. - Elemento Químico Radônio - QUÍMICA NOVA Vol. 32, N° 4, NOVEMBRO 2009 http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc32_4/09-EQ10909.pdf Acessado em: Nov. 2013
- ATSDR, Agency for Toxic Substances & Disease Registry, 2010. What you Need to Know. What You Can Do. What causes cancer? Atlanta, Georgia. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/risk/cancer/cancer-causes.html>
- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. ToxFAQs for Radon. 2012. Accessed at <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=406&tid=71> on June 28, 2013.
- BONOTTO, D. M. - Radioatividade e Saúde - Semana Internacional do Planeta Terra, e disponível através do endereço http://geociencias.no-ip.org/27_1/AIPT_Resumos.pdf Acessado em: Nov. 2013
- BONOTTO, D. M. - Radioatividade nas Águas: da Inglaterra ao Guarani – São Paulo: Editora UNESP, 2004.
- DARBY S - Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. 2005; *BMJ*; 330(7485):223-227.
- EPA. United States Environmental Protection Agency . A Citizen's Guide to Radon. 1/10/2013. Accessed at <http://www.epa.gov/radon/pubs/citguide.html> on June 28, 2013.
- EPA. United States Environmental Protection Agency. Radon (Rn). Disponível em: <http://www.epa.gov/radon/>. Acessado em: jun. 2012.
- IARC - International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 100D-7: X- and c-radiation. 2012. Accessed at <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100D/mono100D-7.pdf> on June 28, 2013.
- IARC - International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 100D-9: Internalized α -particle emitting radionuclides. 2012. Accessed at <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100D/mono100D-9.pdf> on June 28, 2013.

- IPEN, 2002 - BELLINTANI, S. A.; GILI, F. das Neves - Noções Básicas de Proteção Radiológica, Apostila do IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares 2002 . Disponível em: <http://www.engeworks.com.br/arquivos/> Acessado em: Nov. 2013
- KREWSKI D - Residential Radon and Risk of Lung Cancer: A Combined Analysis of 7 North American Case-Control Studies. 2005; *Epidemiology*; 16:137-145.
- LUBIN JH - Adjusting Lung Cancer Risks for Temporal and Spatial Variations in Radon Concentration in Dwellings in Gansu Province, China. 2005; *Radiat. Res*; 163:571-579.
- MENDES R. Conceito de Patologia do Trabalho. In: Mendes R (org.), *Patologia do Trabalho*. Rio de Janeiro: Atheneu; 2005. p. 47-92.
- NRC - National Cancer Institute. Radón y cáncer: Questions and Answers. 12/6/2011. Accessed at www.cancer.gov/cancertopics/factsheet/Risk/radon on June 28, 2013.
- NRC - National Research Council), Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. *Health Effects on Exposure to Low Levels of Radon: BEIR VI*. Washington, DC: National Academy Press; 1998.
- OHIO Radon Pro & Professional Maintenance Associates Inc. A history of radon – 1470-1984. Disponível em: http://www.ohioradonpro.com/Radon_History.html. Acessado em: jun. 2012.
- OMS – Organização Mundial de Saúde - Radon and câncer - Fact sheet N°291 Updated September 2009 <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs291/en/>
- RAMSAY, W. *The gases of the atmosphere*. 4. ed. Londres: Macmillan, 1915.
- RÊGO F. M. - A FÍSICA DAS RADIAÇÕES NO ENSINO - Dissertação de Mestrado, 2004 - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. http://www.lip.pt/~luis/teses/florbela_rego_tese.pdf Acessado em: Nov. 2013
- SODDY, F. *The interpretation of radium*. Londres: John Murray, 1909.
- US Department of Health and Human Services. Public Health Service, National Toxicology Program. Report on Carcinogens, Twelfth Edition: Ionizing radiation. 2011. Accessed at <http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/twelfth/profiles/IonizingRadiation.pdf> on June 28, 2013.
- WEEKS, M. E. The discovery of the elements XIX. The radioactive elements. *Journal of Chemical Education*, n. 10, p. 79-90, 1933.
- WHO - World Health Organization. An overview of the evidence on environmental and occupational determinants of cancer. Asturias, Spain; 2011 (WHO technical report series, p. 1).
- WHO - World Health Organization. Hajo Zeeb - Survey On Radon Guidelines, Programmes And Activities Geneva, 2007,
- WHO - World Health Organization. Handbook on indoor radon: a public health perspective / edited by Hajo Zeeb, and Ferid Shannoun. 2009 http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673_eng.pdf
- WHO - World Health Organization. Radon and cancer - Fact sheet N°291 Updated September 2009 <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs291/en/>
- WHO - World Health Organization. Radon and Health - Information Sheet March 2004 <http://www.who.int/phe/radiation/en/2004Radon.pdf>
- WHO - World Health Organization. The global occupational health network: prevention of occupational cancer. Geneva; 2006 (WHO technical report series, p.2).

Sites Sugeridos

United Kingdom National Radiation protection Board

<http://www.nrpb.org>

US Environmental Protection Agency

<http://www.epa.gov/iaq/radon/index.html>

Swiss Public Health Department

<http://www.ch-radon.ch>

US National Radon Safety Board

<http://www.nrsb.org/>

US National Research Council, Board on Effects of Ionising Radiation VI Report on

Health Effects of Exposure to Radon (full text)

<http://www.nap.edu/books/0309056454/html/index.html>

Find state Radon Service Officials in the U.S.A.

<http://www.epa.gov/iaq/contacts.html>

US Nuclear Regulatory Committee

<http://www.nrc.gov>

American Lung Cancer Association

http://www.lungusa.org/air/radon_factsheet99.html

Environmental Radon Newsletter published by NRPB, UK

http://www.nrpb.org/publications/newsletters/environmental_radon/index.htm

Building Research Establishment, Foundation for the Built Environment, UK

www.bre.co.uk

Health Canada: Radon

<http://www.hc-sc.gc.ca/ehp/ehd/catalogue/general/iyh/radon.htm>

Outros Sites

(1) <http://ciencia.hsw.uol.com.br/radonio3.htm>

(2) <http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/iyh-vsv/environ/radon-eng.php>

(3) <http://reciclagemdeoleo.blogspot.com.br/2012/07/gas-radonio-um-ilustre-desconhecido-e-2.html>

(4) <http://medicalgeology.org/>

(5) http://www.who.int/ionizing_radiation/env/radon/en/index1.html

(6) <http://www.ird.gov.br/>

(7) <http://www.nuclep.gov.br/>

(8) <http://www.iaea.org/>

(9) <http://www.radoncorporation.com/index.html>

(10) <http://www.physics.isu.edu/radinf/>

(11) <http://www.epa.gov/radon/>

(12) <http://hps.org/>

(13) <http://www.cnen.gov.br/>

(14) http://www.notisul.com.br/n/colunas/efeitos_da_radioatividade-28307

(15) http://lounge.obviousmag.org/in_search/2014/02/tecnologia-a-tecnica-da-hegemonia.html

(16) <http://jorgeroriz.wordpress.com/radonio-alerta-de-risco-para-sua-saude/>

(17) <http://www.infoescola.com/elementos-quimicos/radonio/>

(18) http://www.qualidade.eng.br/relatorio_final_nuclear.pdf

(19) <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1519048/pdf/envhper00350-0058.pdf>

(20) <http://www.cocinasmejoradasperu.org.pe/documentacion/>

(21) http://www.who.int/ionizing_radiation/env/radon/Radon_flyer_2006.pdf

(22) <http://www.cancer.org/espanol/cancer/quesloquecausaelcancer/>

(23) <http://noticias.universia.net.mx/translate/es-pt/ciencia-nn-tt/noticia/2014/02/19/1083099/gas-radon-segunda-causa-cancer-pulmon-mundo.html>

(24) <http://noticias.universia.net.mx/translate/es-pt/ciencia-nn-tt/noticia/2005/06/22/92849/revelan-gas-radon-es-segunda-causa-cancer-pulmon.html>