

O GÁS RADÃO - UM INIMIGO PÚBLICO... MAS NÃO NA CIDADE DE COIMBRA

M. M. Godinho, L. J. P. F. Neves e A. J. S. C. Pereira*

INTRODUÇÃO

A ideia de poluição do ar associa-se às ruas movimentadas de grandes cidades, às chaminés de fábricas ou de instalações emissoras de fumos e cheiros. Porém, os espaços confinados, nomeadamente os de trabalho e o interior das casas de habitação, têm vindo a merecer também atenção por serem potencialmente poluíveis por gases e poeiras.

O radão é um elemento químico do grupo dos gases raros. Nas condições normais de temperatura e pressão é um gás inodoro e incolor, e é também o mais denso gás conhecido (nove vezes mais denso que o ar). Penetra facilmente materiais como o papel, o plástico de que são feitos os vulgares sacos de plástico, painéis de madeira, e mesmo algumas peças de betão. Provindo do solo, da água ou de materiais de construção, no território português continental é omnipresente numa camada de vários metros de ar junto ao solo, podendo penetrar espaços confinados, de que é um potencial poluidor. Da sua radioconcentração advém o risco que o radão pode acarretar para ambientes do interior desses espaços, em particular habitações, onde as pessoas passam uma grande parte do seu tempo de vida, a trabalhar ou a descansar. A capacidade que tem de interferir com células vivas é de há muito conhecida (v. g. STEIN, 1968); revela-se, por exemplo, no poder germicida sobre a *Brucella Actinomycetales* e na indução de mutações na *Drosophyla* e de alterações em algumas sementes (o feijão é uma delas).

Como muitos outros elementos químicos, tem o radão vários isótopos (conhecem-se 16). São todos radioactivos, mas o tempo de meia-vida da maior parte é de apenas alguns minutos ou, quando muito, algumas horas. Um dos isótopos, porém, tem tempo de meia-vida de 3,82 dias; é o ^{222}Rn , um isótopo da cadeia de desintegração radioactiva do isótopo ^{238}U do urânio, o qual constitui mais de 99% do urânio que está geralmente presente nas rochas e nos solos. Em princípio, quanto mais urânio tiver a rocha ou o solo maior a sua capacidade de produzir o gás radão, o qual se transfere para o ar se a permeabilidade lhe permitir

a passagem e o escape, ou pode dissolver-se na água que circula nas rochas e nos solos.

Para traduzir a quantidade de radão presente por unidade de volume de ar utiliza-se normalmente a concentração, correntemente expressa em "becquerel por metro cúbico" (Bq.m^{-3}); 1 Bq é a desintegração de 1 átomo de radão por segundo, e essa desintegração, que produz um átomo dum novo elemento radioactivo (o polónio), é acompanhada da emissão de uma partícula alfa. Para o radão dissolvido na água a concentração exprime-se normalmente em Bq.litro^{-1} .

SOBRE O IMPACTE DO RADÃO NA SAÚDE HUMANA

O radão entra no corpo humano por inalação (no ar) ou por ingestão (na água). Emitindo, ele próprio e alguns dos seus descendentes, partículas alfa, fracamente penetrativas mas fortemente energéticas, é potencial causador de danos ao nível das células. Isso mesmo sugeriram experiências com ratos e cães, nos quais a exposição ao gás se concluiu aumentar a incidência de certos tumores, em especial do tracto respiratório. Estudos epidemiológicos em humanos evidenciaram também o papel carcinogénico do radão e dos seus descendentes; a carcinogenicidade das baixas concentrações de radão tem sido, porém, contestada por COLE (1994), que afirma mesmo que nem o conhecimento científico nem os dados epidemiológicos justificam o alarme em torno do radão.

Para efectuar estudos sobre os efeitos biológicos das radiações ionizantes, nomeou o *National Research Council*, dos EUA, uma comissão de cientistas. O sexto relatório que essa comissão elaborou versa o radão, e foi apresentado em conferência de imprensa a 19 de Fevereiro de 1999 pela *National Academy of Sciences*; passou a ser conhecido por *Relatório BEIR VI* (BEIR é a designação abreviada de "efeitos biológicos das radiações ionizantes"). Aí se conclui que o radão é um importante factor de risco para a saúde pública, sendo o inalado no interior de espaços confinados responsável por ca. 12% das mortes por cancro do pulmão nos EUA; havendo efeito sinérgico radão/tabaco, os fumadores incorrem num risco acrescido.

* Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra.

É incerta a magnitude do risco, mas no mesmo relatório se estima que 1/3 das mortes atribuíveis ao radão poderiam ser evitadas se tivessem sido adoptadas medidas de redução do nível da sua concentração no ar das habitações onde ela excedia *ca.* 150 Bq.m⁻³.

Já desde 1988 a Agência de Protecção Ambiental dos EUA (EPA) vinha recomendando aos cidadãos que fizessem avaliar o nível de concentração do radão no interior das suas casas e, no caso de ser superior a *ca.* 150 Bq.m⁻³, executassem obras para redução da concentração; a Agência disponibiliza mesmo um linha telefónica e diversas publicações para informação dos cidadãos (ver, por ex., o *site* da Internet <http://www.epa.gov/iaq/radon/pubs/citguide.html>). Por outro lado, a Comissão das Comunidades Europeias emitiu em 1990 uma recomendação (90/143/EURATOM) em que são indicados como máximos o valor médio anual de 400 Bq.m⁻³ no ar de habitações já construídas e o de 200 Bq.m⁻³ para habitações a construir. Embora não tenham sido ainda adoptados por todos os países, estes limites são os legalmente impostos na República Checa e na Suécia, mantendo-se simplesmente recomendados em alguns outros países europeus. Países há, porém, onde é maior a tolerância; a título de exemplo, na Suíça impõe-se que as habitações existentes não excedam 1000 Bq.m⁻³, enquanto no Canadá se recomenda que, em nenhum caso, as habitações excedam 800 Bq.m⁻³.

Refira-se ainda que, para locais de trabalho confinados, a União Europeia emitiu a directiva 96/29/EURATOM, de 13 de Maio, onde são fixadas normas de segurança de base contra os riscos das radiações ionizantes, onde o radão se inclui.

OBJECTIVOS DO PRESENTE TRABALHO

Disse-se já que o radão pode provir do solo, da água ou dos materiais de construção. Na área urbana de Coimbra nem a água nem os materiais de construção constituem, em geral, fontes significativas de radão; a água porque, sendo distribuída por rede pública, o radão que eventualmente contivesse teria escapado para a atmosfera aquando das operações de tratamento; os materiais porque a sua natureza não é de molde a poderem ter significativas concentrações de isótopos progenitores de radão. É, com efeito, no solo que reside a fonte a ter em conta.

O radão provindo do solo é, na sua maior parte, exalado para a atmosfera. Quando há habitações ou outros espaços construídos, penetra no seu interior através de fissuras nos pavimentos, fendas nas paredes, juntas de construção ou espaços não preenchidos em torno de

canalizações na base das edificações; em virtude da sua elevada densidade, concentra-se sobretudo no ar do interior dos pisos inferiores (sobretudo cave e rés-do-chão), em particular se a ventilação desses espaços é deficiente.

Mas a quantidade de radão exalado do solo depende da natureza deste, e esta, por sua vez, da natureza do substrato rochoso; num caso e noutro a permeabilidade dos materiais é factor fortemente influente na quantidade exalada. Para avaliar a probabilidade de concentração excessiva de radão nos espaços confinados da região torna-se, pois, necessário conhecer a natureza das rochas e o potencial de exalação dos seus solos, e isto tanto em áreas habitadas como em áreas onde é previsível construir no futuro. Nesta perspectiva fizeram os autores medições da concentração do radão em: (1) solos (entendido o termo *solo* na sua acepção geotécnica e não na pedológica), no sentido de avaliar o potencial de produção de radão na região; e (2) habitações, com o objectivo de perceber a qualidade do ar do seu interior no que respeita ao radão, e também a eventual relação que tem essa qualidade com o potencial de produção do solo, e, por via de consequência, a relação entre produção e exalação.

Em última análise, é a geologia da região que determina o grau de severidade do risco que o radão pode envolver para a saúde. Por isso mesmo se apresentam os traços dominantes da geologia regional com maior relevância para o caso; para além das nossas próprias observações, lançamos mão de estudos geológicos sobre a região que constam da literatura (PEREIRA *et al.*, 1997; SOARES *et al.*, 1985).

ASPECTOS GEOLÓGICOS

A região objecto de estudo localiza-se essencialmente na porção oriental da Orla Mesoceno-zóica Ocidental que, a partir de Coimbra, se estende até ao Atlântico; compreende ainda uma estreita faixa do Maciço Hespérico (figura 1). O seu substrato rochoso é essencialmente de natureza sedimentar, e de idade meso-ceno-zóica; apenas a faixa oriental, na região Tovim – Ponte da Portela, se situa sobre metamorfitos epizonais de idade proterozóica superior. Os sedimentos terrígenos ocupam a maior parte da região; o restante é de rochas carbonatadas, com predomínio de margas e calcários margosos.

Grosso modo disposta entre o meridiano de Tovim de Cima e o da Praça da República, estende-se por toda a área uma faixa de arenitos triásicos. Para ocidente desta faixa desenvolvem-se as unidades jurássicas de natureza essencialmente carbonatada; na Pedrulha e Adémia, a norte, e em Bencanta-Taveiro, a sul, sobrepoem-se às

rochas jurássicas os arenitos e calcários do Cretácico. Em descontinuidade sobre as rochas mesozóicas, assentam em Bencanta e S. Martinho do Bispo depósitos paleogénicos de natureza areno-conglomerática. Retalhos de depósitos detriticos quaternários ocorrem no Ingote, no Calhabé-Vale das Flores e na Boavista.

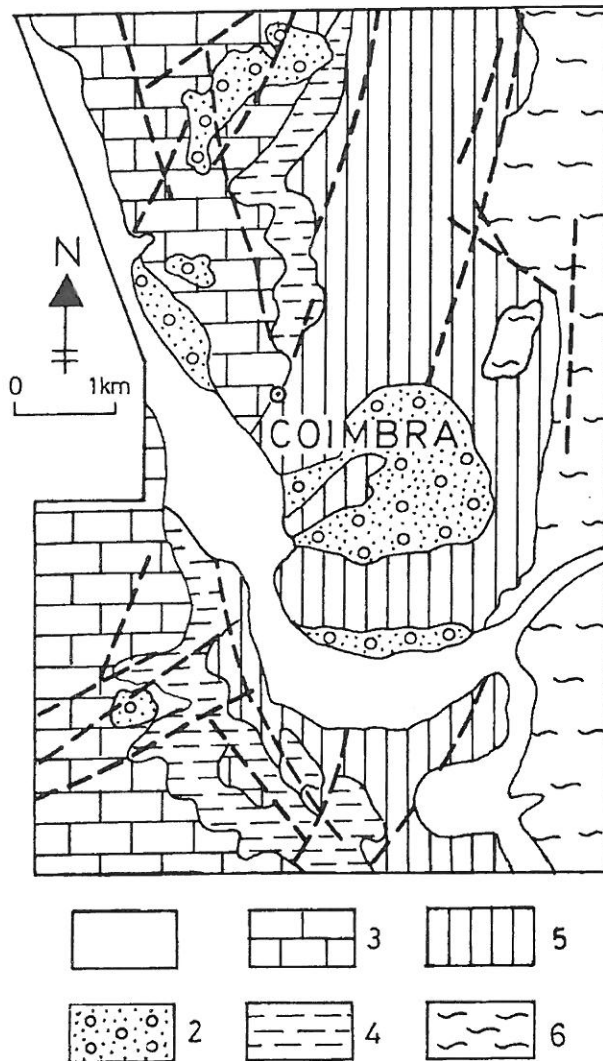


Fig. 1 - Mapa geológico simplificado da região de Coimbra. Símbolos: 1 - aluvião; 2 - rochas detriticas quaternárias; 3 - rochas carbonatadas do jurássico médio; 4 - rochas do jurássico inferior, com componente carbonatada e detritica; 5 - rochas detriticas triásicas; 6 - rochas metassedimentares precâmblicas; falhas a tracejado grosso.

MEDIÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DO RADÃO - MÉTODOS E RESULTADOS

As medições foram efectuadas em locais cuja selecção, embora guiada por critérios geológicos, sofreu de

naturais condicionalismos de acesso aos autores e aos equipamentos.

No ar dos solos

Foram seleccionados 200 locais na região. Em cada local foi feito um furo de 0,8 metros de profundidade e 2 centímetros de diâmetro, e dele foi extraído, com bomba apropriada, o ar contido no poros do solo. O ar extraído foi conduzido para um emanómetro previamente calibrado, com o qual foi medida a radiação alfa emitida. Todas as medições foram efectuadas no início do Verão, num curto intervalo de tempo, com condições atmosféricas relativamente estáveis e sem precipitação. Os resultados das medições foram já antes apresentados pelos autores em Actas de Congresso (PEREIRA *et al.*, 1998) e estão condensados em histogramas na Fig. 2; o erro máximo que afecta cada valor não excede 10-15% desse valor, para a probabilidade de 0,95.

No ar do interior de habitações

Utilizaram-se detectores passivos (ver descrição da técnica em NEVES *et al.*, 1999), que se colocaram, durante ca. 3 meses, preferencialmente em compartimentos de cave ou de rés-do-chão que não fossem ventilados com demasiada frequência. As habitações, num total de 79, foram seleccionadas de modo a representarem adequadamente a construção sobre as diversas formações geológicas da porção central da malha urbana. Depois de expostos, os detectores foram tratados quimicamente e lidos sob microscópio; os resultados foram já antes apresentados pelos autores em Actas de Congresso (NEVES *et al.*, 1999) e condensam-se na figura 2; o erro máximo de leitura é estimado em 20% do valor dado, para a probabilidade de 0,95. Sendo conhecido que a concentração do radão no interior de habitações tende a ser mais elevada no inverno que no verão, em parte por ser mais reduzida a ventilação no inverno, os detectores foram expostos de Janeiro a Abril (de 1998); os valores obtidos estarão, pois, próximos dos máximos anuais para cada caso.

DISCUSSÃO

É relativamente baixo o valor da concentração do radão nas habitações da região urbana de Coimbra: o máximo medido é de 304 Bq.m⁻³, e a média geométrica (preferida à aritmética em virtude de os valores tenderem a ter distribuição lognormal) de todos os valores é 37 Bq.m⁻³. Considerando as recomendações da União Europeia, em nenhum caso a concentração excede o limiar de segurança para habitações já existentes. Se for consi-

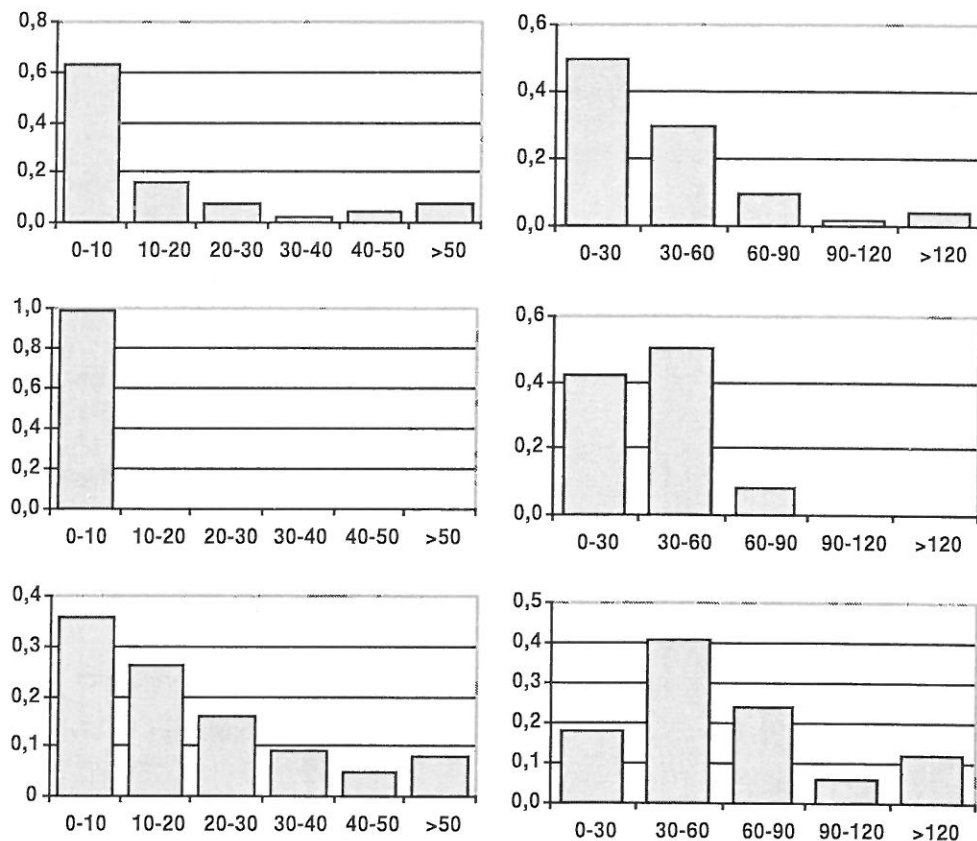


Fig. 2 – Histogramas da distribuição das concentrações de radão medidas nos solos da região de Coimbra, à esquerda (expressas em kBq.m^{-3}), e em habitações da mesma região, à direita (expressas em Bq.m^{-3}); as ordenadas são frequências relativas. De cima para baixo estão sucessivamente representados os dados referentes a substrato de rochas detríticas triásico-hetangianas, de rochas carbonatadas jurássicas e de rochas detríticas quaternárias. (Segundo NEVES *et al.*, 1999).

derado o valor limite recomendado pela U. E. para habitações a construir, então 2 habitações excederiam esse valor, ainda que seja tido em conta o erro analítico. Ou seja, apenas 25 em cada 1000 habitações merecem alguma atenção no que respeita à poluição por radão do ar do interior dos seus pisos mais baixos; e esta mesma probabilidade continua a ser válida se for tomada em conta a recomendação da Agência de Protecção Ambiental dos EUA que atrás se referiu.

As habitações que merecem atenção assentam em níveis areno-pelíticos dos sedimentos detríticos triásico-hetangianos; é também nesses níveis que se observaram concentrações de urânio relativamente elevadas, que podem atingir 34 ppm (partes por milhão em peso) quando a rocha contém matéria carbonosa (PEREIRA *et al.*, 1997). As que assentam em rochas carbonatadas são aquelas em que o ar do seu interior está menos poluído por radão, situando-se a concentração deste gás entre 17 e 58 Bq.m^{-3} , com média geométrica 32 Bq.m^{-3} ; não se exclui, no

entanto, a possibilidade de ser excedido o limite superior deste intervalo em locais onde a rocha carbonatada tenha sofrido alteração avançada, com solubilização do(s) carbonato(s) e formação de abundante resíduo silto-argiloso. Ainda que se não tenham observado valores superiores a 129 Bq.m^{-3} em habitações que assentam em sedimentos detríticos quaternários, não é de descurar ainda a possibilidade de se virem a encontrar concentrações superiores a este limite em locais onde é avultada a componente pelítica da rocha, caso em que a concentração de urânio pode ser *ca.* de duas dezenas de ppm (PEREIRA *et al.*, 1997); já quando os depósitos são de natureza essencialmente areno-conglomerática essa possibilidade é muito remota.

Há, em geral, correlação significativa entre a concentração do radão no solo, medida a profundidade de 0,8 metros, e a concentração nas habitações, o que significa que os factores geológicos condicionam esta última, e ainda que a transferência de radão do solo para o interior

das habitações não foi significativamente dificultada por elementos construtivos dessas edificações. A valores no solo inferiores a 10 kBq.m^{-3} parece corresponderem concentrações não superiores a 60 Bq.m^{-3} nas habitações que nele assentam. Os histogramas da fig. 2 indicam ainda que, se no solo a concentração é superior a 80 kBq.m^{-3} , não é desprezável a probabilidade de ser excedida a concentração de 120 Bq.m^{-3} no ar das habitações, havendo, pois, a possibilidade de ser excedido o limiar de segurança. Em qualquer caso, o risco de radão é geralmente baixo na região, praticamente desprezável, tendo o risco moderado uma probabilidade que se estima no intervalo 0,025-0,050.

A constituição do substrato geológico e a concentração do urânio não são os únicos factores geológicos a ter em conta na previsão de risco de radão; a permeabilidade vertical dos solos pode contribuir para atenuar esse risco. Vejamos.

Foi já dito que o isótopo ^{222}Rn se gera na cadeia de decaimento do urânio, pelo que a sua distribuição em solos e rochas se relacionará com a deste elemento. Nas formações sedimentares da Orla Meso-Cenozóica podem ocorrer concentrações relativamente elevadas de urânio (MARQUES *et al.*, 1979a e 1979b). Em amostras representativas das diversas rochas que ocorrem na região de Coimbra obtiveram PEREIRA *et al.* (1997) concentrações médias de urânio de 1 a 25 ppm. É nos termos carbonatados que é mais baixa a concentração do urânio, raramente ultrapassando 3 ppm. Pelo contrário, é em termos detríticos que o urânio tende a acumular-se; e são os níveis granulometricamente mais finos que mais urânio contêm, com frequência excedendo 10 ppm. Consistentemente, as concentrações mais elevadas de urânio foram observadas por PEREIRA *et al.* (1997) em níveis específicos onde a fracção argilosa é mais abundante, em especial quando nessa fracção se contém matéria carbonosa, caso em que a concentração do urânio atinge os 39 ppm; isto acontece, porém, em locais muito restritos.

Quando confrontada com a que se observa em rochas do Maciço Hespérico, onde residem os mais significativos suportes do urânio no território português, a concentração do urânio nas rochas sedimentares de Coimbra não é, só por si, de molde a afastar a possibilidade de a concentração do radão atingir níveis elevados na região. Há, porém, uma diferença de monta: ao contrário do que acontece com falhas do Maciço Hespérico no interior das Beiras, as medições de radiação gama que os autores efectuaram por cintilometria em algumas das falhas que intersectam as rochas sedimentares da região de Coimbra não revelaram concentrações elevadas de elementos radiogénicos; já nos xistos do Tovim o enchimento de falhas pode acumular algum urânio.

Os granitos são, em geral, as rochas preferidas como suporte do urânio. Com base em mais de 200 análises de granitos da região central do País, NEVES *et al.* (1996) estimam para esses granitos concentrações médias de urânio de 7 a 9 ppm. Confrontando estes valores com os de PEREIRA *et al.* (1997) para as rochas da região de Coimbra, constata-se que algumas das rochas sedimentares, designadamente alguns níveis areníticos triásicos e níveis quaternários areno-pelíticos de Cheira, podem ter concentração de urânio mais elevada que o próprio granito médio. Os dados sobre urânio sugerem, pois, que o potencial de produção de radão de algumas unidades sedimentares da região pode mesmo exceder o de algumas rochas graníticas do Maciço Hespérico.

Porém, potencial de produção e potencial de exalação são conceitos a que correspondem valores numéricos diferentes em grande parte dos materiais geológicos. De n átomos de radão produzidos na cadeia de decaimento do urânio só n/2 subsistem ao fim de 3,82 dias, só n/4 ao fim de 7,64 dias, e assim por diante. Se o átomo, uma vez produzido, não é imediatamente exalado da rocha por a permeabilidade desta o não permitir, a probabilidade de que possa fazê-lo em algum momento decresce com o tempo. A permeabilidade influencia, pois, o potencial de exalação do solo, permeabilidade e potencial variando no mesmo sentido. A permeabilidade de rochas sedimentares detríticas é negativamente influenciada pela proporção de argila na rocha. Viu-se que são as rochas com avultada componente pelítica as mais ricas em urânio, em particular quando se lhe associa matéria carbonosa; são elas, portanto, as que possuem maior potencial de produção de radão, por vezes superior ao das rochas graníticas. O potencial de exalação dessas rochas mantém-se, porém, moderado em virtude da sua relativamente baixa permeabilidade.

CONCLUSÕES

Das observações efectuadas conclui-se que, na região urbana e suburbana de Coimbra:

- A concentração do radão no ar do interior dos pisos inferiores das habitações é, em todos os casos, mais baixa que o limite internacionalmente recomendado para habitações já construídas;
- O risco de radiação que o radão envolve é geralmente baixo, só muito localmente moderado;
- Os locais de maior potencial de produção são aqueles onde a rocha tem avultada componente silto-argilosa ou argilosa, em especial quando está presente material carbonoso; porém, o potencial de exalação é aí moderado;

- São merecedores de alguma atenção, no que respeita ao risco de radão, os locais de futura construção onde seja maior o potencial de exalação.

Agradecimentos: O presente trabalho foi realizado no âmbito, e com financiamento, dos Projectos PRAXIS/2/2.1/CTA/399/94, PBICT/C/CTA/2211/95 e do *Grupo de Modelagem de Sistemas Geológicos* do Centro de Geociências da Universidade de Coimbra. Agradece-se à Empresa Nacional de Urânio S.A. a cedência, a título de empréstimo, de algum equipamento de medição.

BIBLIOGRAFIA

- COLE, L. A. (1994) – *Element of risk: the politics of radon*. Oxford University Press, Oxford, 246 p.
- MARQUES, J. A. C.; GODINHO, M. M. e SOARES, A. F. (1979a) – “Contribuição para o estudo da distribuição do urânio na região do Olival (Leiria)”. *Comunic. Serv. Geol. Portugal*, LXIV, pp. 299-309.
- MARQUES, J. A. C.; SOARES, A. F.; GODINHO, M. M.; DIAS, J. M. e CAJÃO, M. M. (1979b) – “Contribuição para o estudo da distribuição hidrogeoquímica do urânio na Orla Meso-Cenozóica Ocidental”. *Comunic. Serv. Geol. Portugal*, LXIV, pp. 151-176.
- NEVES, L. J. P. F.; PEREIRA, A. J. S. C. e GODINHO, M. M. (1999) – “Concentração do radão em habitações da região de Coimbra e factores geológicos condicionantes”. *Actas do II Congresso Ibérico de Geoquímica e XI Semana de Geoquímica*, Lisboa, pp. 131-135.
- NEVES, L. J. P. F.; PEREIRA, A. J. S. C.; GODINHO, M. M. e DIAS, J. M. (1996) – “A radioconcentração das rochas como um factor de risco ambiental no território continental português: uma síntese”. *V Conferencia Nacional Sobre a Qualidade do Ambiente*. Vol. I, pp. 641-649.
- PEREIRA, A. J. S. C.; NEVES, L. J. P. F.; GODINHO, M. M.; SOARES, A. F. e MARQUES, J. F. (1998) – “Distribuição do radão em solos da região de Coimbra (Portugal Central)”. *Comunic. Inst. Geol. Min.*, 84, vol. 2, pp. 110-113.
- PEREIRA, A. J. S. C.; NEVES, L. J. P. F.; SOARES, A. F.; GODINHO, M. M. e MARQUES, J. F. (1997) – “Distribuição de U e Th em rochas da região de Coimbra (Portugal Central)”. *Actas da X Semana de Geoquímica e IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Oficial Portuguesa*, Braga, pp. 405-408.
- SOARES, A. F.; MARQUES, J. F. e ROCHA, R. B. (1985) – “Contribuição para o conhecimento geológico de Coimbra”. *Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol., Univ. Coimbra*, 100, pp. 41-71.
- STEIN, L. (1968) – “Radon”. In C. A. HAMPEL (ed.) - *The Encyclopedia of the chemical elements*. Reinhold Book Corporation, New York.