

MARTIM PORTUGAL V. FERREIRA
Coordenação

A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos

VOL. 1 • GEOLOGIA DE ENGENHARIA



Coimbra • Imprensa da Universidade

AS MINERALIZAÇÕES DE URÂNIO E A RADIO- ACTIVIDADE NATURAL EM PORTUGAL: FACTORES GEOLÓGICOS CONDICIONANTES E IMPLICAÇÕES PARA O ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

A. J. S. C. PEREIRA ¹, L. J. P. F. NEVES ¹, M. M. GODINHO ¹ e J. M. M. DIAS ¹

PALAVRAS CHAVE: mineralizações de U, radioactividade natural, ordenamento, Portugal.

KEY WORDS: U mineralizations, natural radioactivity, land planning, Portugal.

RESUMO

No decurso de trabalhos de investigação desenvolvidos nos últimos anos em diversas áreas urbanas da Região Centro obtiveram-se *ca.* três centenas de análises de U nas rochas e mais de um milhar de determinações da concentração de radão no ar do solo. Esta informação, suportada por estudos geológicos e mineralógicos de pormenor, permitiu a elaboração de diversos mapas de potencial de radão. A validação destes mapas foi efectuada através de campanhas de medição da concentração de radão no interior de habitações, em número de *ca.* 700. Concluiu-se existir correlação significativa entre factores geológicos e a concentração de radão nas habitações, sendo o risco mais elevado em rochas graníticas onde o urânio se não encontra fixado em suportes mineralógicos próprios, bem como em estruturas mineralizadas em U, geralmente caixas de falha, muito frequentes em parte da região das Beiras. As falhas dos sistemas N30-35°E e N70-80°E que intersectam granitos e metassedimentos metamorfizados por contacto são particularmente relevantes neste aspecto. Pode concluir-se que, para fins de ordenamento e planeamento do território, os mapas de risco de radão devem ser elaborados a uma escala local (1:5000 a 1:1000), de modo a poder controlar a radioactividade natural no interior das habitações.

¹ Departamento de Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 3000-272 Coimbra, Portugal.

ABSTRACT: Uranium mineralization and natural radioactivity: conditioning geological factors and the consequences on land planning

Along the last few years we carried out research on radioactivity of rocks (mainly granites and metasediments) and soils of some urban areas of Central Portugal. Data on the concentration of U in about three hundred rock samples and of radon in more than one thousand soil sites were obtained. On the basis of this quantitative information and of both local and regional geological and mineralogical studies, radon potential maps were performed; these maps were validated through *ca.* 700 radon-gas determinations in the air of the lowest floor of dwellings interior. A striking correlation was detected between geological factors and indoor radon concentration. Radon potential is higher in some fault filling materials and where U is mobile (intergranular or located in microfissures in minerals); N30-35°E and N70-80°E faults that cut granites and contact metamorphosed metasediments are specially relevant in this respect, at some places with very high radon potential. On the basis of these findings, it is concluded that land planning needs local scale (1:5000 to 1:1000) radon risk maps in order to control the natural radioactivity in the dwellings interior.

1. INTRODUÇÃO

O gás radão, gerado na cadeia de decaimento do ^{238}U , é a principal fonte de radioactividade natural, o que fundamenta e explica que em alguns países se tenha vindo a verificar interesse e preocupação em controlar a dose desse gás a que os cidadãos estão expostos em espaços confinados, em especial nas habitações. Embora não sejam os únicos, a constituição litológica duma região, o teor do urânio nas suas rochas e a permeabilidade destas, bem como o suporte mineralógico do urânio, são factores que determinam a concentração do radão nos solos e, conseqüentemente, do potencial de transmissão deste gás ao ar do interior de espaços confinados, designadamente das habitações.

Através de estudos realizados em diversas áreas urbanas da região Centro, têm vindo a ser desenvolvidas pelo Grupo de Modelagem de Sistemas Geológicos do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra metodologias de avaliação do potencial de radioactividade natural das rochas, visando, em última análise, a construção de mapas risco a escala que se adegue à sua utilização em planos de ordenamento do território.

O presente trabalho constitui uma síntese de alguma informação geológica e geoquímica adquirida nos últimos anos sobre o risco de radão nas áreas urbanas de Canas de Senhorim, Castelo Branco, Coimbra, Figueiró dos Vinhos, Guarda, Nelas, Oliveira do Hospital, Seia, Sertã e Tondela.

2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

As áreas urbanas em apreço inscrevem-se em duas grandes unidades geológicas do território português, que são o Maciço Hespérico e a Orla Meso-Cenozóica Ocidental. A região de Coimbra situa-se, na maior parte, sobre a Orla Meso-Cenozóica, em pequena parte sobre o Maciço Hespérico; as restantes inserem-se no Maciço Hespérico.

O Maciço é, na porção central do País, constituído por rochas graníticas (na sua grande maioria hercínicas, com idades 380-270 Ma), que são dominantes, e ainda por rochas metassedimentares de idade ante-ordovícica. As rochas graníticas têm sido caracterizadas como granitos biotíticos, granitos de duas micas e granitos moscovíticos, e a sua implantação gerou frequentemente auréolas de metamorfismo de contacto onde podem ocorrer micaxistos ou mesmo corneanas pelíticas. As rochas metassedimentares são essencialmente xistos e grauvaques, localmente também quartzitos. Em algumas áreas ocorrem depósitos de cobertura, de extensão e espessura relativamente reduzidas e idade cenozóica (<65 Ma), dispostos sobre granitos e metassedimentos.

A Orla Meso-Cenozóica Ocidental é constituída quase exclusivamente por rochas sedimentares (idade <245 Ma), com dominância das de natureza detrítica e das carbonatadas. Das regiões estudadas, apenas a de Coimbra se localiza (na sua maior parte) nesta Orla.

Tendo em conta o que precede, a constituição litológica das regiões em apreço pode sintetizar-se como segue:

- Na região de Coimbra ocorrem extensivamente sedimentos detríticos, de natureza essencialmente arenítica e argilosa, e ainda calcários e margas; numa faixa a oriente as rochas são xistos e grauvaques;
- Nas restantes regiões o substrato geológico é essencialmente composto de granitos ou de rochas metassedimentares. Os granitos são geralmente biotíticos porfiróides, de grão médio a muito grosseiro, e têm recebido designações locais que, no caso em apreço, são as de granito de Castelo Branco (FIGUEIREDO *et al.*, 1997), granito de Figueiró dos Vinhos (dados não publicados), granito de Tondela (PEREIRA E PONTE, 1992) e granito de Tábua (PEREIRA E PONTE, 1992). O granito de Tábua estende-se desde as proximidades de Tondela à Guarda, nele se incluindo as áreas urbanas de Canas de Senhorim, Nelas, Seia e Oliveira do Hospital; será doravante designado por granito de Tábua-Guarda. Localmente ocorrem pequenos corpos de granitos não porfiróides, geralmente de pequena expressão; gneisses, também de fraca expressão em afloramento, ocorrem nas proximidades de Figueiró dos Vinhos. Xistos e grauvaques são rochas presentes em porção significativa das áreas estudadas, sendo exclusivas na região de Sertã. Na região de Castelo Branco, para além de granitos,

xistos e grauvaques ocorrem quartzitos e xistos (alguns grafitosos) de idade ordovícico-silúrica, restritos a uma estreita faixa de direcção N50°W que atravessa a cidade. Depósitos de cobertura, essencialmente arcósico-argilosos, ocorrem nas regiões de Seia e Tondela; a sua espessura não excede, em geral, a dezena de metros.

Em todas as regiões estudadas o substrato geológico está fracturado, com dominância dos sistemas de falhas N10-15°E, N30-35°E, N50-60°E e N70-80°E; em algumas falhas implantaram-se filões de quartzo ou de rocha básica. O material que preenche as falhas (doravante designado por caixa de falha) resultou do esmagamento da rocha intersectada e, por vezes, também de quartzo filoniano, podendo, nalguns casos, atingir a dezena de metros de espessura; em algumas das falhas que intersectam rochas do Maciço reconheceram-se concentrações particularmente elevadas de urânio (COSTA *et al.*, 1997; FIGUEIREDO *et al.*, 1997; PEREIRA *et al.*, 1999a; SALGADO *et al.*, 1998).

3. MÉTODOS

Os estudos desenvolvidos foram suportados em todos os casos por cartografia geológica detalhada das áreas urbanas em análise, tendo sido dada especial ênfase à detecção de fracturas, quer no campo, quer, complementarmente, através de análise fotogeológica. A observação petrográfica das rochas permitiu caracterizar a sua mineralogia, com especial relevo para a identificação de minerais susceptíveis de incorporarem urânio e tório.

O estudo da distribuição mineralógica do urânio nas rochas foi aprofundado através da análise de amostras representativas por técnicas de *fission-track*, de acordo com metodologia descrita em PEREIRA *et al.* (1999b).

A avaliação do fundo radiométrico natural e de eventuais anomalias presentes foi efectuada com apoio de cintilómetros de raios gama, modelo SPP2 da Saphymo, e com espectrómetro de raios gama portátil GR130G da Exploranium, o qual possibilita ademais a caracterização expedita do conteúdo de urânio e de tório das rochas. Com este equipamento e ainda através de análises químicas convencionais obtiveram-se, no total, *ca.* 3 centenas de medições de U.

A concentração do radão nos solos foi medida em locais representativos e ao longo de perfis, de orientação e extensão variáveis, os quais compreendem as rochas aflorantes e caixas de falha que as intersectam; os locais de medição totalizam mais de um milhar nas diversas áreas estudadas. A técnica analítica encontra-se descrita em PEREIRA *et al.* (1998).

Com base na análise de toda a informação obtida em cada área, elaboraram-se cartas de potencial de radão, geralmente à escala 1:10000, as quais reflectem

a maior ou menor probabilidade de uma habitação poder apresentar, no seu interior, concentração de radão superior ao limite máximo recomendado pela UE (400 Bq.m⁻³ quando já existentes). A validação das cartas de potencial de radão foi efectuada através de campanhas de medição da concentração de radão no interior das habitações, as quais foram levadas a cabo com recurso a detectores passivos do tipo LR115. Em cada área urbana, e de acordo com a sua extensão, efectuou-se a colocação de 100 a 200 detectores, no período de inverno (Dezembro a Fevereiro), os quais ficaram expostos durante cerca de 3 meses. O tratamento laboratorial e contagem dos detectores foi efectuado através de procedimento descrito em NEVES *et al.* (1999).

4. RESULTADOS

4.1. RADIOMETRIA E TEORES DE URÂNIO

As litologias que ocorrem na região Centro apresentam significativas diferenças no que respeita ao conteúdo em elementos radiogénicos, em especial urânio, o que é, desde logo, detectável através da utilização de cintilómetros de raios gama. Para além de um fundo natural variável em função da natureza litológica das rochas, por vezes atingindo expressão de relevo no que respeita à capacidade de produzir radão, são ademais detectáveis com muita frequência estruturas correspondentes a caixas de falha e filões com mineralização em urânio nas rochas do Maciço. Algumas destas estruturas foram objecto de prospecção mineira e, nalguns casos, de exploração de urânio.

A tabela I condensa a informação obtida sobre o teor de urânio em 227 amostras de litologias representativas da Região Centro de Portugal; cerca de uma centena dos valores foram obtidos por espectrometria de raios gama, os restantes por métodos analíticos convencionais.

Tabela I – Média dos teores de U (ppm) nas litologias estudadas. N é o número de análises.

Litologia	Média aritmética do teor de U	N
Rochas carbonatadas da região de Coimbra	1.9	17
Sedimentos areno-conglomeráticos	3.8	20
Sedimentos areno-pelíticos	10.2	22
Xistos, grauvaques e (localmente) quartzitos	4.4	52
Gneisses e micaxistos da região de Figueiró dos Vinhos	3.8	9
Granito de Figueiró dos Vinhos	4.8	17
Granito de Tondela	7.9	14
Granito de Castelo Branco	8.2	7
Granito de Tábua-Guarda	11.7	68

Dos resultados obtidos, é patente que as rochas carbonatadas (calcários e dolomias) apresentam os mais baixos teores em urânio, enquanto, por outro lado, rochas graníticas e sedimentos areno-pelíticos apresentam os teores mais elevados. As rochas graníticas exibem acentuada variabilidade do seu teor médio em urânio, entre o mínimo observado para o granito de Figueiró dos Vinhos (4.8 ppm) e o máximo para o granito da Tábua-Guarda (11.7 ppm), situando-se este teor, para os restantes granitóides, em cerca de 8 ppm.

Obtiveram-se, ademais, 75 análises de materiais de caixa de falha com fundo radiométrico anómalo: em todos os casos o urânio mostrou ser o responsável pela anomalias radiométricas, tendo sido obtidos teores muito variáveis, entre algumas dezenas de ppm, no caso de anomalias com fraca expressão, até alguns milhares de ppm, em locais fortemente anómalos. É de salientar que, para além de caixas de falha simples, tendem a apresentar igualmente níveis de mineralização por vezes elevados alguns filões, geralmente com brecha de quartzo ou preenchimento de rocha básica. Os metassedimentos, quando em contacto com rochas graníticas ou em encaves no interior destas, apresentam também, por vezes, acentuado enriquecimento em urânio.

4.2. SUPORTE MINERALÓGICO DO URÂNIO

Para um mesmo conteúdo em urânio, a emissão de radão será fortemente potenciada numa rocha em que este elemento se localize em microfissuras e bordos intergranulares, donde o U é mobilizável, relativamente a outra onde ele se encontre confinado em minerais acessórios, designadamente zircão, monazite e apatite, onde o U está fixo em *loci* estruturais da rede desses minerais. Os estudos efectuados por técnicas de *fission track* mostraram que o suporte mineralógico do urânio nas rochas graníticas pode ser localmente diversificado; porém, no granito de Tábua-Guarda parece haver tendência a ocorrer sob forma mobilizável (PEREIRA *et al.*, 1999b). Isto poderá explicar, pelo menos em parte, o facto de as mais elevadas concentrações médias de radão em habitações ocorrerem sobre este granito (ver dados em TEIXEIRA e FAÍSCA, 1992).

4.3. CONCENTRAÇÃO DE RADÃO NOS SOLOS

As concentrações de radão medidas nos solos das áreas em apreço ultrapassam um milhar (algumas centenas não estão publicadas). Da tabela II constam as que definem o fundo regional, e estão organizadas de acordo com a natureza da rocha subjacente; o solo é entendido aqui, não no sentido pedológico do termo, mas como a camada superficial de materiais líticos, constituída essencialmente por rocha desagregada, em geral com muito pouca matéria orgânica.

Tabela II – Concentração média (média geométrica) do radão no ar dos solos das rochas dominantes nas regiões em apreço. N é o número de observações.

Litologia	Fundo (kBq.m ⁻³)	N
Rochas carbonatadas da região de Coimbra	2	30
Sedimentos detriticos areno-conglomeráticos	6	111
Sedimentos detriticos areno-pelíticos	28	73
Rochas metassedimentares (xistos e grauvaques)	12	172
Granito de Figueiró dos Vinhos	13	11
Granito de Tondela	29	51
Granito de Castelo Branco	26	32
Granito de Tábua-Guarda	52	152

Na área urbana de Coimbra as rochas carbonatadas e detriticas grosseiras são as mais pobres em radão, com valor médio inferior a 10 kBq.m⁻³, sendo também as rochas que têm teores de urânio mais baixos (PEREIRA *et al.*, 1997). Pelo contrário, a ocorrência de quantidades significativas de materiais argilosos, especialmente se associados a matéria orgânica, incrementa a capacidade de produção de radão nas rochas, como o parece indicar a média das concentrações do gás nos sedimentos detriticos mais finos (28 kBq.m⁻³). Sedimentos argilosos têm concentração média de radão que não difere significativamente da observada em rochas graníticas; este facto não é inesperado, uma vez que os materiais argilosos podem apresentar teores de urânio bastante elevados (NEVES *et al.*, 1996; PEREIRA *et al.*, 1997).

No conjunto das rochas do Maciço, as de natureza granítica são as mais ricas em radão, com valores de fundo regional que vão de 13 (granito de Figueiró dos Vinhos) a 52 kBq.m⁻³ (granito de Tábua-Guarda). O granito de Figueiró dos Vinhos (e, a ajuizar pelo teor de U, também os gneisses desta região) tem concentração de radão próxima da observada em metassedimentos. O granito de Tábua-Guarda é, dos estudados, o maior produtor de radão; os granitos de Tondela e de Castelo Branco, em consonância com os teores de urânio medidos, apresentam nível intermédio de produção.

É no granito de Tábua-Guarda que ocorrem diversas áreas mineralizadas em urânio, algumas com interesse económico, bem como milhares de anomalias radiométricas, por vezes fortes, de carácter muito localizado. Medições de radão, efectuadas em perfis orientados perpendicularmente a falhas que patenteavam anomalias radiométricas, mostraram, conforme esperado, acentuado acréscimo da concentração de radão, a qual chega a atingir valores dezenas de vezes superiores aos registados nas zonas limítrofes.

Em algumas das falhas que intersectam as diversas regiões do Maciço foram medidas as concentrações de radão mais elevadas, frequentemente superiores a 100 kBq.m⁻³ (n=244); estes valores são, em geral, mais frequentes quando as falhas intersectam os granitos. No que respeita às rochas metassedimentares, os valores

anómalos só se encontram na proximidade do contacto com os corpos graníticos ou nos encraves que se dispõem no interior destas, tendo-se observado, em alguns destes casos, concentrações excepcionalmente elevadas, superiores a 1.000 kBq.m^{-3} (PEREIRA *et al.*, 1999c; PEREIRA *et al.*, 1999d); o valor máximo encontrado até ao momento ($12.850 \text{ kBq.m}^{-3}$) foi obtido sobre um falha que intersecta um encrave metassedimentar. As fracturas responsáveis por estas elevadas concentrações orientam-se, nas regiões estudadas, predominantemente segundo N30-35°E e N70-80°E; a largura da faixa anómala é, geralmente, de apenas alguns metros, mas, localmente, pode atingir algumas dezenas de metros (FIGUEIREDO *et al.*, 1998; PEREIRA *et al.*, 1999c; PEREIRA *et al.*, 1999d).

4.4. CONCENTRAÇÃO DE RADÃO EM HABITAÇÕES

Os resultados obtidos no Inverno são menos influenciados por factores ligados ao uso e ventilação das habitações, pelo que os utilizamos geralmente em trabalhos que visam avaliar do potencial de risco de radão numa dada região; por outro lado, a maior parte dos detectores foram colocados no piso mais baixo, junto ao solo portanto, onde a concentração do radão é menos perturbada pelas actividades humanas. Os valores que se referem não são, por conseguinte, representativos do valor médio anual nas divisões habitáveis das respectivas habitações. Note-se que em 63 casos em que se repetiram no Verão, nos mesmos locais, as determinações efectuadas no Inverno, verificou-se uma redução média na concentração de radão de *ca.* 35% (dados não publicados).

Na tabela III apresentam-se os valores médios obtidos em habitações que assentam sobre diversas litologias dominantes na Região Centro: agrupam-se os dados relativos a rochas sedimentares detríticas, dado a heterogeneidade vertical das formações não permitir assegurar, na maior parte dos casos, se a contribuição para as concentrações de radão medidas provém de níveis areno-conglomeráticos ou areno-pelíticos.

Os resultados da tabela III correlacionam-se significativamente com os indicadores geoquímicos anteriormente referidos. Assim, as habitações assentes em rochas carbonatadas revelam as mais baixas concentrações de radão (30 Bq.m^{-3}), em consonância com os seus escassos teores de U, e reduzidas concentrações de radão nos solos (Neves *et al.*, 1999); os teores de U e as concentrações de radão nos solos das rochas sedimentares detríticas poderiam fazer supor uma maior capacidade de transmissão de radão às habitações; no entanto, o facto de, em geral, estas rochas possuírem estratificação sub-horizontal confere-lhes escassa permeabilidade, pelo que não surpreende que os metassedimentos, de foliação geralmente sub-vertical, mostrem níveis de radão mais elevados nas habitações sobre eles construídas (70 contra 50 Bq.m^{-3} , respectivamente). Tal como foi

Tabela III – Valores médios (média geométrica) da concentração do radão no ar do interior de habitações que assentam sobre as várias litologias das regiões em apreço. N é o número de observações.

Litologia	Radão (Bq.m ⁻³)	N
Rochas carbonatadas da região de Coimbra	30	12
Sedimentos detriticos indiferenciados	50	82
Gneisses e micaxistos da região de Figueiró dos Vinhos	50	10
Rochas metassedimentares (xistos e grauvaques)	70	68
Rochas metassedimentares com metamorfismo de contacto	240	30
Granito de Figueiró dos Vinhos	90	26
Granito de Tondela	120	79
Granito de Castelo Branco	110	27
Granito de Tábua-Guarda	280	390

anteriormente referido, nos casos em que as rochas metassedimentares de idade ante-ordovícica mostram ter sofrido metamorfismo de contacto, induzido por rochas graníticas, pode ocorrer acentuado enriquecimento em urânio e, conseqüentemente, elevados níveis de radão nos solos; as habitações construídas sobre este tipo de materiais geológicos reflectem esse facto, apresentando concentrações médias de radão (240 Bq.m⁻³) superiores às observadas em diversas rochas graníticas, aproximando-se mesmo da mais elevada média obtida, a qual foi observada para o granito de Tábua-Guarda (280 Bq.m⁻³). O granito de Figueiró dos Vinhos, com média de radão nas habitações de 90 Bq.m⁻³, comprova que a afectação do grau de risco na base meramente de uma classificação litológica pode conduzir a uma incorrecta avaliação, uma vez que, mesmo tratando-se de granito, os valores em pouco excedem os observados nos metassedimentos. Nem todas as rochas graníticas apresentam, de facto, elevado potencial de produção de radão, como este caso exemplifica. Por outro lado, embora as restantes rochas graníticas apresentem mais elevada concentração média de radão nas habitações, distinguem-se também entre si por apresentarem potencial de radão distinto; os granitos de Tondela e de Castelo Branco situam-se num patamar intermédio (110-120 Bq.m⁻³), e o granito de Tábua-Guarda apresenta o mais elevado potencial de transmissão de radão às habitações.

5. AVALIAÇÃO DO RISCO DE RADÃO

Ao que se sabe, o radão pode envolver risco para a saúde especialmente espaços confinados onde a ventilação se não processe com o necessário vigor. Para que esse risco exista, duas condições são necessárias: o gás deve ser produzido na rocha e no solo, e por este ser exalado em quantidade bastante; o gás exalado deve penetrar no espaço confinado. A arquitectura da habitação, os materiais líticos utilizados, e especialmente as técnicas usadas na construção, influem na concentração do radão

no ar do seu interior; por exemplo, a existência de uma caixa de ar ventilada situada sob a habitação impedirá que boa parte do radão exalado do solo migre para o seu interior. O clima, ao condicionar a ventilação natural das habitações, pode também contribuir de forma indirecta para incrementar ou reduzir as concentrações de radão no seu interior.

Em todo o caso, o contexto geológico pode induzir no ambiente risco potencial de radão; foram já estabelecidos esquemas de classificação desse risco, adoptados internacionalmente, os quais se baseiam na concentração do radão nos solos (vg. AKERBLUM, 1994; APPLETON & BALL, 1995), fazendo-se corresponder risco baixo, moderado, elevado e muito elevado a certos intervalos de concentração. Mapas de risco podem ser construídos conjugando informação geológica, geoquímica e radiométrica, e tomando em consideração a permeabilidade dos materiais geológicos.

Dos dados obtidos pode concluir-se que, ao avaliar o risco de radão, especial atenção deve prestar-se a alguns tipos de rochas graníticas e a metassedimentares de contacto, bem como a falhas que intersectam aquelas rochas. As falhas com elevado potencial de produção de radão, que, como já referimos, se alinham maioritariamente segundo N30-35°E e N70-80°E, devem merecer, pois, atenção especial aquando da elaboração de mapas de risco de radão, instrumentos que consideramos necessários na configuração duma correcta política de ordenamento do território. A elaboração dum mapa de risco de radão carece da detecção destas estruturas e da sua cartografia a uma escala local (1:5000 a 1:1000), particularmente em áreas sujeitas a pressão urbanística.

Delimitadas as áreas de risco, poderão fundamentadamente ser tomadas, aquando da construção, medidas de minimização que se considerem apropriadas. Estas medidas podem, em alguns casos, consistir no uso de adequadas técnicas de construção dos edificios projectados. Para áreas urbanas já ocupadas, podem ser executadas algumas modificações nos edificios que reduzam o fluxo de radão do substrato para o seu interior, ainda que, neste último caso, os custos sejam consideravelmente superiores aos que estão implicados na resolução do problema em habitações a construir. Este facto explica, aliás, que a recomendação da União Europeia estabeleça limites mais exigentes para a concentração de radão tolerável em habitações a construir, relativamente às já existentes (200 e 400 Bq.m⁻³, respectivamente).

6. CONCLUSÕES

1) O maior risco de radioactividade natural deve-se à presença de radão no ar do interior de habitações. Este gás provém essencialmente do solo sobre que assenta a habitação. 2) Os materiais líticos usados na construção de habitações

podem incrementar o risco de construir num dado local se tiverem níveis de radioactividade elevados. Deve ser, por isso, tida em conta a concentração de U nas rochas usadas na construção, de modo a evitar a disseminação de materiais radioactivos. 3) Embora as maiores concentrações de radão em habitações se encontrem em solos de certas litologias subjacentes, não basta o conhecimento destas para avaliar o risco de radiação. Com efeito, a concentração de radão no solo depende do facto de U estar ou não confinado na estrutura dos minerais, e ainda de factores como o tipo e a densidade da fracturação, a orientação das fracturas, a permeabilidade do solo. 4) Especial atenção deve ser dada à ocupação humana de solos sobrejacentes a falhas, as quais por vezes possuem enchimento com fundo radiométrico muito anómalo, a metassedimentos de contacto com granitos e a encaves no interior destes, bem como ao granito de Tábua-Guarda, onde os teores de urânio e o suporte mineralógico deste elemento químico propiciam acentuados níveis de exalação de radão. 5) É recomendável que, na expansão de áreas urbanas, seja seguida uma política de ordenamento que tenha em conta os riscos associados à presença de níveis elevados de radão, construindo, para o efeito, mapas de potencial a uma escala local (1:5000 a 1:1000). 6) Quando é elevado ou muito elevado o risco de radiação, é recomendável que as novas habitações tenham a sua construção condicionada ao uso de técnicas que minimizem o risco, e as já existentes sejam rastreadas no sentido de avaliar o risco que sobre elas impende e de controlar esse risco.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi executado no âmbito do Grupo de Modelagem de Sistemas Geológicos, do Centro de Geociências da Universidade de Coimbra, e teve financiamento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia através deste Centro.

BIBLIOGRAFIA

- ÅKERBLOM, G. (1994) – Ground radon – monitoring procedures in Sweden. *Geoscientist*, 4, 21-27.
- APPLETON, J.D. & BALL, T.K. (1995) – Radon and background radioactivity from natural sources: characteristics, extent and relevance to planning and development in Great Britain. British Geological Survey, Technical Report WP/95/2.
- COSTA, L.A.P.A., NEVES, L.J.P.F., PEREIRA, A.J.S.C. & GODINHO, M.M. (1997) – Alguns dados geoquímicos sobre as rochas da região de Seia, com especial ênfase no urânio e no tório. *IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e X Semana de Geoquímica, Actas*, Braga, 377-379.

- FIGUEIREDO, J.M.S., PEREIRA, A.J.S.C., NEVES, L.J.P.F. & GODINHO, M.M. (1997) – Distribuição de U e Th em rochas graníticas e metassedimentares da área urbana de Castelo Branco (Portugal Central). *IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e X Semana de Geoquímica, Actas*, Braga, 385-388.
- FIGUEIREDO, J.M.S., PEREIRA, A.J.S.C., NEVES, L.J.P.F. & GODINHO, M.M. (1998) – Distribuição do radão em solos da área urbana de Castelo Branco (Portugal Central). *Comunic. Inst. Geol. Min.*, 84, E114-117.
- NEVES, L.J.P.F., PEREIRA, A.J.S.C., GODINHO, M.M. & DIAS, J.M. (1996) – A radioactividade das rochas como um factor de risco ambiental no território continental português: uma síntese., in *V Conferência Nacional Sobre a Qualidade do Ambiente*, Eds. C. Borrego, C. Coelho, L. Arroja, C. Boia e E. Figueiredo, **1**, pp. 641-649.
- NEVES, L.J.P.F., PEREIRA, A.J.S.C. & GODINHO, M.M (1999) – Actividade do radão em habitações da região de Coimbra e factores geológicos condicionantes. *II Congresso Ibérico de Geoquímica*, Lisboa, Actas, 131-135.
- PEREIRA, A.J.S.C. & PONTE, M.J.B. (1992) – Geologia da região de Tondela-Oliveira do Hospital (Portugal Central). *Memórias e Notícias*, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra, 114, 1-17.
- PEREIRA, A.J.S.C., NEVES, L.J.P.F., SOARES, A.F., GODINHO, M.M. & MARQUES, J.F. (1997) – Distribuição de U e Th em rochas da região de Coimbra (Portugal Central). *IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e X Semana de Geoquímica, Actas*, Braga, 405-408.
- PEREIRA, A.J.S.C., NEVES, L.J.P.F., SOARES, A.F., GODINHO, M.M. & MARQUES, J.F. (1998) – Distribuição do radão em solos da região de Coimbra (Portugal Central). *Comunic. Inst. Geol. Min.*, 84, E110-113.
- PEREIRA, A.J.S.C., NEVES, L.J.P.F., ABRANTES, L.M.C.B.L. & GODINHO, M.M (1999a) – Distribuição de U e Th em áreas radiometricamente anómalas da região de Oliveira do Hospital (Portugal Central). *II Congresso Ibérico de Geoquímica, Lisboa, Actas*, 409-411.
- PEREIRA, A.J.S.C., NEVES, L.J.P.F. & GODINHO, M.M. (1999b) – Suportes de urânio no granito das Beiras – implicações para o potencial de emissão do radão. *II Congresso Ibérico de Geoquímica, Lisboa, Actas*, 137-140.
- PEREIRA, A.J.S.C., NEVES, L.J.P.F. & GODINHO, M.M. (1999c) – Distribuição do radão em áreas radiometricamente anómalas da região de Oliveira do Hospital (Portugal Central). *II Congresso Ibérico de Geoquímica, Lisboa, Actas*, 127-130.
- PEREIRA, A.J.S.C., SALGADO, A.L.V., NEVES, L.J.P.F. & GODINHO, M.M. (1999d) – Distribuição do radão em solos da região de Tondela. *II Congresso Ibérico de Geoquímica, Lisboa, Actas*, 441-444.
- SALGADO, A.L., PEREIRA, A.J.S.C., NEVES, L.J.P.F. & GODINHO, M.M. (1998) – Distribuição de U e Th em rochas da região de Tondela (Portugal Central). *Comunic. Inst. Geol. Min.*, 84, B122-125.
- TEIXEIRA, M.M.R. e FAÍSCA, M.C. (1992) – Concentrações de radão em habitações a nível nacional. *III Conf. Nacional sobre a Qualidade do Ambiente*, vol. II, p. 522-531.