

DL 07.MAI 2001*194068

Departamento de Ciências da Terra

Universidade de Coimbra

**O POTENCIAL DE RADÃO NA REGIÃO DE
TONDELA
(PORTUGAL CENTRAL)
IMPLICAÇÕES PARA O ORDENAMENTO DO
TERRITÓRIO**

António Luis Vaz Salgado

Dissertação apresentada ao departamento de Ciências da
Terra da Universidade de Coimbra para a Obtenção de grau
de Mestre em Geociências



2000

ÍNDICE

PREFÁCIO.....	V
1. INTRODUÇÃO	1
2. O RADÃO COMO FACTOR DE RISCO AMBIENTAL	2
2.1 – Introdução	2
2.2 - Factores que condicionam as concentrações nas habitações	5
2.2.1 – Factores geológicos	5
2.2.2 – Factores meteorológicos	8
2.2.3 – Tipologia das habitações e condições de ocupação humana	9
2.3.- ELABORAÇÃO DE MAPAS DE RISCO	10
2.3.1 – Introdução	10
2.3.2 – Metodologias usadas em alguns países estrangeiros	11
2.3.3 – Metodologias usadas em Portugal	26
3. AVALIAÇÃO DO RISCO DE RADÃO NA REGIÃO DE TONDELA	29
3.1 – Introdução	29
3.2 – Geologia da região de Tondela	29
3.2.1 – Enquadramento regional	29
3.2.2 – Descrição das litologias da região	30
3.2.2.1 – Rochas Metamórficas	30
3.2.2.2 – Rochas graníticas	31
3.2.2.2.1 – Granito de Tondela (GT)	32
3.2.2.2.2 – Granito de Tábua (GTB)	32
3.2.2.2.3 – Granito da Várzea (GV)	33

3.2.2.2.4 – Filão granítico de Borralhal - Salgueiral	33
3.2.2.3 – Depósitos de cobertura (DEP)	34
3.2.3 – Aspectos estruturais relevantes	34
3.2.4 – Aspectos Petrográficos	36
3.2.4.1 – Rochas metamórficas	36
3.2.4.2 – Rochas graníticas	36
3.2.4.2.1 – Granitos porfiróides	36
3.2.4.2.2 – corpos menores	39
3.2.5 – Informação modal	40
3.3. DADOS RADIOMÉTRICOS	43
3.3.1 – Introdução	43
3.3.2 – Métodos e equipamento	43
3.3.3 – Perfis radiométricos	44
3.4. DADOS SOBRE OS ELEMENTOS RADIOGÉNICOS	57
3.4.1 – Métodos	57
3.4.2 – Caracterização das litologias.	58
3.4.3 - Caracterização das anomalias radiométricas.	61
3.4.4 – Suportes mineralógicos dos elementos radiogénicos.	64
3.4.5 – Relação entre radiometria e os elementos radiogénicos.	66
3.5. O RADÃO NO AR DOS SOLOS	67
3.5.1 – Métodos e equipamento	67
3.5.2 – Dados obtidos	68
3.5.3 – Avaliação do potencial de risco	79
3.6. Conclusão	83
BIBLIOGRAFIA	85

1 - INTRODUÇÃO

O radão (^{222}Rn) é um gás radioactivo produzido na cadeia de decaimento do urânio, elemento químico que integra, com teores variáveis, as rochas que compõem a crosta continental. Sendo um gás inerte, o radão pode escapar-se facilmente das rochas e dos solos onde é produzido e migrar para o interior de espaços confinados, como, por exemplo, as habitações; aqui pode, por vezes, acumular-se em elevadas concentrações. Nestes casos, a inalação do radão e dos seus descendentes pode afectar a saúde humana, designadamente potenciando o aparecimento do cancro do pulmão. O radão é, pois, um factor natural de risco ambiental.

O substrato geológico do território continental português é composto por uma grande diversidade de rochas, nalgumas das quais foram determinados teores bastante significativos de urânio (ver NEVES *et al.*, 1996); é, pois, de esperar que o potencial de produção de radão possa também ser elevado nalgumas regiões do país. Isto mesmo foi já observado em trabalhos realizados em diversas zonas da região Centro (ver síntese em PEREIRA *et al.*, 1999d), em especial quando o seu substrato geológico era constituído por rochas granitóides e metassedimentares.

A região que é objecto deste estudo, com área de ca. 80 km², localiza-se no Centro de Portugal e integra a área urbana de Tondela. É objectivo deste trabalho a avaliação do potencial de radão nas rochas e solos que nela afloram, tendo por base informação diversa, designadamente geológica, radiométrica e emanométrica.

Porém, antes de nos dirigirmos a este objectivo apresentaremos, em síntese, a problemática geral que envolve o radão como factor de risco ambiental, bem como os métodos e técnicas que têm sido utilizadas para a sua caracterização.

BIBLIOGRAFIA

- AKERBLOM, GUSTAV (1987) – Investigations and mapping of radon risk areas. In WOLFF, F.C. (eds) "Geology for environmental planning". Proceedings of the International Symposium "Geological mapping in the service of environmental planning". NGU – Norges Geologiske Undersøkelse (Geological Survey of Norway), 96-106.
- AKERBLOM, GUSTAV (1994) – Ground radon – monitoring procedures in Sweden. *Geoscientist*, Vol. 4, nº 4, July-August, 21-27.
- ANTUNES, M.T. & BROIN, F.DE (1977) - ? *Cheirogaster sp.* (Testudines, Fam. Testudinidae, geocheleone s.l.) du Paléogène de Naia, Tondela et l'âge du gisement. *Ciências da terra (UNL)*, Lisboa, 3, 179-195, 5figs, 2 est.
- 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.
- ASHER-BOLINDER, S.; OWEN, D.E. & SCHUMANN, R.R. (1991) – A preliminary evaluation of environmental factors influencing day-to-day and seasonal soil-gas radon concentrations. In GUNDERSON, L.C.S. & WANTY, R.B. (eds) "Field Studies of Radon in Rocks, Soils, and Water", U.S. Geological Survey Bulletin, nº 1971, 23-31.
- ASSUNÇÃO, C.T. DE & MARTINS, J.A. (1958) – Sobre um filão de microgranito moscovítico da região de Tondela. *Ver. Fac. Ciências, Lisboa*, 2ª série, VI (2ª), 245 - 254
- BARNET, I. (1991) – Radon risk mapping of the Czech Republic – results. 13 – 19 in *Radon Investigations in Czechoslovakia II*. BARNET, I, (editor), Geological Survey of Prague.
- BARNET, I. (1996) – The research project Nº 3310 "Radon risk in the Czech Republic" – the activities of the Czech Geological Survey 1994 – 1996. III International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Czech Geological Survey & Radon corp., 1-9.
- BARNET, I., MIKSOVÁ, J. & PROCHÁZKA, J. (1998) – Radon database and radon risk map 1:500 000 of the Czech Republic. IV International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Czech Geological Survey & Radon Corp., 1-6.

- CHARLET, J.M., ZHU, H.C., POFFIJN (1999) – The radon anomaly of Porcheresse (Ardennes, Belgium). A case study . *Il Nuovo Cimento*, volume 22C, série 2, número 3-4, 491-496.
- COSTA, L.A.P.A. (1997) – Distribuição do radão em materiais geológicos da região de Seia – Contribuição para o ordenamento da área urbana. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra
- COSTA, L.A.P.A., NEVES, L.J.P.F, PEREIRA, A.C.J.S, GODINHO, M.M (1998) – Distribuição do radão em solos da região de Seia – uma primeira abordagem. *Comunic. Inst. Geol. Min.*, 84, vol. 2, B126 – 129.
- CUNHA, P.M.R.R.P. (1992) – Estratigrafia e sedimentologia dos depósitos do Cretácico superior e Terciário de Portugal central, a leste de Coimbra. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Coimbra.
- DIAS, J.M.M. & ANDRADE, A.A.S. (1970) – Portuguese uranium deposits. *Memórias e Notícias, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra*, 70, 1- 22.
- DONALDSON, A.W. (1969) – The epidemiology of lung cancer among uranium miners. *Health Physics*, vol. 16, 563-569.
- FAISCA, M.C., TEIXEIRA, M.M.R. & BETTENCOURT, A. O. (1992) – Indoor radon concentrations in Portugal – A National Survey *Radiation Protection Dosimetry* vol. 45, 465-467.
- FERREIRA, A.B. (1978) – Planaltos e montanhas do Norte da Beira. *Memória do Centro de Estudos Geográficos, Univ. Lisboa*, 4.
- FERREIRA, N., IGLESIAS, M., NORONHA, F., PEREIRA, E., RIBEIRO, A. e RIBEIRO, M.L., (1987) – Granitóides da zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. In: F. BEA, A. CARNICEIRO, J. GONZALOS, M.L. PAZA e M. D. ALONSO (eds), *Geologia de los granitoides Y rocas asociados del macizo Hespérico*, libro homenaje a L.C. Garcia de Figuerola, Editorial Rueda, Madrid, 31 – 51.
- FIELD, R.W., STECK, D.J., SMITH, B.J., BRUS, C.P., NEUBERGER, J.S., FISHER, E.F. PLATZ, C.E., ROBINSON, R.A, WOOLSON, R.F., AND LYNCH, C.F. (2000) – Residential Radon Gas Exposure and Lung Cancer: The Iowa Radon Lung Cancer Study, *American Journal of Epidemiology*, 151(11): 1091-1102.
- FIGUEIREDO, J.M.S., PEREIRA, A.C.J.S., 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). *Actas X Semana de Geoquímica / V Congresso de geoquímica dos países de Língua Portuguesa*, Braga, Portugal, 385-388.
- FIGUEIREDO, J.M.S. (1998) – O radão nos materiais geológicos da área urbana de Castelo Branco. Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra.

- FIGUEIREDO, J.M.S., PEREIRA, A.C.J.S., 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, vol. 2, E114 – 117.
- FRIEDMANN, H., 1999 – Radon and lung cancer: case-control vs. Ecologic studies. *Il Nuovo Cimento*, volume 22C, série 2, número 3-4., 335-340.
- GAN, T.H., MASON, G.C., WISE, K.N., Whittlestone, S. & Wyllie, H. A (1986) – Desorption of Rn-222 by moisture and heat. *Health Physics*, vol. 50, 407-410.
- GODINHO, M.M, NEVES, L.J.P.F, PEREIRA, A.C.J.S, (1999) – O gás radão – um inimigo público...mas não na cidade de Coimbra, em publicação...
- GUNDERSEN, L.C.S., SCHUMANN, R.R., OTTON, J.K., DUBIEL, R.F., OWEN, D.E. & DICKINSON, K.A., PEAKE, R.T., WIRTH, S.J., (1991) – "Preliminary radon potential map of the United States". In: *Proc. 1991 Int. Symp. On radon and radon reduction technology (EPA/600/9-91/037B)*, v.2. U.S. Environmental Protection Agency, research Triangle Park, NC, 9.13 – 9.32.
- GUNDERSEN, L.C.S., SCHUMANN, R.R., OTTON, J.K., DUBIEL, R.F., OWEN, D.E. & DICKINSON, K.A. (1992) – Geology of radon in the United states. In Gates, A.E. & GUNDERSEN, L.C.S (eds) "Geological controls on radon", geological Society of America, Special paper 271, 1-167.
- KEMSKI, J., KLINGEL, R. & SIEHL, A. (1996) – Classification and mapping of radon – affected areas in Germany. *Environmental Geology*, 22, Supp. I, S789 – S798.
- KEMSKI, J., KLINGEL, R. & SIEHL, A., STEGEMANN R.; VALDIVIA-MANCHEGO, M. (1998) – Mapping the geogenic potencial in Germany using GIS techniques. IV International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Czech Geological Survey & Radon Corp., 45-53.
- KEMSKI, J., SIEHL, A., VALDIVIA-MANCHEGO (1999) – Mapping and prediction of geogenic radon potential in Germany. *Il Nuovo Cimento*, volume 22C, série 2, número 3-4, 295-300.
- KUSIAK, R.A., RITCHIE; A.C., MULLER, J. & SPRINGER; J. (1993) – Mortality from lung cancer in Ontario uranium miners. *Br.J.Ind.Med.*, vol 50, 920-928.
- LAO, K.Q. (1990) – Controlling Indoor Radon – measurement, mitigation and prevention. Van Nostrand Reinhold, New York.
- LUBIN, J.H., BOICE, J.D. Jr., EDLING, C., HORNUNG, R.W, HOWE, G.R., KUNZ, E., KUSIAK, R.A., MORRISON, H.I., RADFORD, E.P., SAMET, J.M, TIRMARCHE, M., WOODWARD, A., YAO, S.Z. & PIERCE, D.A. (1995) – Lung cancer in radon exposed miners and estimation of risk from indoor exposure, *Journal of the National Cancer Institute*, http://www.oncolink.upenn.edu:80/cancer_news/lung_radon.html (consulta 05/08/2000).
- METTERS, J. (1992) – Setting radon in context. *Radiation Protection Dosimetry*, vol.3, nº3, 159-164.

- MORSE, R. H. (1976) – Radon counters in uranium exploration. Proceedings of a Panel on Uranium Exploration Methods, Vienna.
- NATIONAL ACADEMY of SCIENCES (1998) – Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) VI Report: “The Health Effects of Exposure to Indoor Radon”. Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/iaq/radon/beivi1.html> (consulta 02/08/2000).
- NEVES, L.J.P.F. (1991) – Transferências de matéria e energia na interface granitóides biotíticos porfiróides – granitóides biotítico–moscovíticos na região de Torredeita (Viseu, Portugal Central). Tese de doutoramento não publicada, Univ. Coimbra.
- NEVES, L.J.P.F, PEREIRA, A.C.J.S, GODINHO, M.M e DIAS J.M, (1996) - A radioactividade das rochas como um factor de risco ambiental no território Continental Português: Uma síntese. V Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente, Vol. 1, 641-649.
- NEVES, L.J.P.F, PEREIRA, A.C.J.S, GODINHO, M.M (1999 a) – Actividade do radão em habitações da região de Coimbra e factores geológicos condicionantes. Actas II Congresso Ibérico de Geoquímica / XI Semana de Geoquímica Lisboa, Portugal. 131-135.
- NEVES, L.J.P.F, GODINHO, M.M, PEREIRA, A.C.J.S, (1999 b) – O filão de Borrhal – Salgueiral (Viseu) como caso de leucogranito peraluminosos, HHP e rico em fosforo. . Actas II Congresso Ibérico de Geoquímica / XI Semana de Geoquímica Lisboa, Portugal. 349 - 352.
- NEZNAL, M., NEZNAL, M., SMARDA, J., (1996) – Comparison between large scale radon risk maps and results of detailed radon surveys. III International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Czech Geological Survey & Radon Corp. 16-22.
- OTTON, J.K (1992) – The Geology of Radon. U.S. Departement of the Interior / U.S. Geological Survey.
- PEREIRA, A.C.J.S. (1986) – Modelagem de misturas petrológicas. Uma síntese, com aplicação a rochas ígneas da zona Centro-Ibérica. Trabalho de APCC, Universidade de Coimbra
- PEREIRA, A.C.J.S. (1991) – Transferências de calor e ascensão crustal no segmento Tondela-Oliveira do Hospital (Portugal central) após a implementação dos granitos hercínicos sin a tardi-orogénicos. Dissertação de doutoramento, Universidade de Coimbra.
- 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., Universidade de Coimbra, 114, 1-18.

- PEREIRA, A.J.S.C. & HURFORD, A.J. (1994) – Time of emplacement and cooling history of the late hercynian granites from Tondela-Oliveira do hospital region (Central Portugal), *Memórias e Notícias, Publ. Dep. Ciências da Terra e do Mus. Mineral. Geol., Universidade de Coimbra*, 118, 63-79.
- PEREIRA, A.C.J.S, 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). *Actas da X Semana de Geoquímica e IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Braga*, 405-408.
- PEREIRA, A.C.J.S, NEVES, L.J.P.F & GODINHO M.M., (1998) - Understanding the variability of soil gas radon concentrations: the importance of small scale geological studies for radon risk mapping. *Proceedings of IV International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Barnett, I and Neznal, M. (eds), Czech Geological Survey, Praga*, 98 – 105.
- PEREIRA, A.C.J.S, NEVES, L.J.P.F & GODINHO M.M., (1999a) - Suportes do urânio no granito das beiras – implicações para o potencial de emissão do radão. *Actas II Congresso Ibérico de Geoquímica / XI Semana de Geoquímica, Lisboa, Portugal*, pp 137-140.
- PEREIRA, A.C.J.S, NEVES, L.J.P.F, ABRANTES, L.M.C.B.L. & GODINHO M.M., (1999b) - Distribuição de U e Th em áreas radiometricamente anómalas da região de Oliveira do Hospital (Portugal central). *Actas II Congresso Ibérico de Geoquímica / XI Semana de Geoquímica, Lisboa, Portugal*, pp 409-411.
- PEREIRA, A.C.J.S, ABRANTES, L.M.C.B.L, NEVES, L.J.P.F. & GODINHO M.M., (1999c) - Distribuição do radão em áreas radiometricamente anómalas da região de Oliveira do Hospital (Portugal Central). *Actas II Congresso Ibérico de Geoquímica / XI Semana de Geoquímica, Lisboa, Portugal*, pp 127-130.
- PEREIRA, A.C.J.S, NEVES, L.J.P.F & GODINHO M.M. & DIAS J.M.M. (1999d) - O gás radão em solos da região Central de Portugal: Um factor a considerar para o ordenamento do território . *6ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente vol.2*, 763 – 772.
- PEREIRA, A.C.J.S, SALGADO, A.L.V., NEVES, L.J.P.F & GODINHO M.M. (1999e) – Distribuição do radão em solos da região de Tondela. *II Congresso Ibérico de Geoquímica, Lisboa, actas*, 441 – 444.
- PEREIRA, A.C.J.S, NEVES, L.J.P.F & GODINHO M.M. (2000) – A fracturação das rochas como factor a ter em conta na elaboração de mapas de potencial de radão. *2ª assembleia Luso espanhola de geodesia e geofísica*, 267-268.
- PRICE P., REVZAN K., NERO A., APTE M. (1998) – Mapping home radon levels in the U.S., using radon measurements, geologic information, and other predictive measures. *IV International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Czech Geological Survey & Radon Corp.*, 27-36.

- RYBACH, L., MEDICI, F., SURBECK, H. (1990) – Geological aspects of radon exposure in Switzerland. Radon et Gaz Rares dans les Sciences de la Terre et de l'environnement, Mémoires pour servir à l'explication des cartes Géologiques et Minières de la Belgique, Mémoire n° 32, 105-113.
- TAYLOR, L.S. (1997) – What you need to know about radiation. University of Michigan, <http://www.sph.umich.edu/~bbusby/risk.htm> (consulta 05/08/2000).
- TEIXEIRA, M.M.R. & FAÍSCA, M.C. (1989) – Comparação de níveis de radão no interior de habitações de regiões graníticas e não graníticas. LNETI/DPSR-B N° 5-III Série, Sacavém.
- TEIXEIRA, M.M.R. & FAÍSCA, M.C. (1992) – Concentrações de radão em habitações a nível nacional. III Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente, vol. II, publ. Ministério do Planeamento e da Administração do Território, 522-531.
- TEIXEIRA, C., CARVALHO, L.H.B., BARROS, R.F., MARTINS, J.Á., HAAS, W.E.L., PILAR, L. e ROCHA, A.T. (1961) – Notícia explicativa da folha 17/C (Santa Comba Dão). Carta Geológica de Portugal (1:50000) – Serv. Geol. Portugal.
- SALGADO, A.L.V., PEREIRA, A.C.J.S, 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, vol. 2, B122 – 125.
- SCHUMANN, R.R., GUNDERSEN, L.C.S. & TANNER, A.B. (1994) – Geology and occurrence of radon, ASTM Manual series. 83-96.
- STRECKEISEN, A. (1974) – Classification and nomenclature of igneous rocks. N. Jb. Mineral. Abh., 107, 144-214.
- SUTHERLAND, D., SHARMAN, G., (1996) – Radon – in Northamptonshire?. Geology Today, vol. 12, n° 12 March / April 1996, 63-67.
- VOUTILAINEN A., MAKELAINEN I. (1998) – Radon risk mapping in Finland. IV International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Czech Geological Survey & Radon Corp., 6-14.
- WIEGAND, J. (1996) – The topographic situation – an important topic on radon risk mapping. III International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Czech Geological Survey & Radon Corp., 62-71.
- ZHU, H.C., CHARLET, J.M., TONDEUR, F. (1999) – Indoor radon levels in relation to geology in southern Belgium. Il Nuovo Cimento, volume 22C, série 2, número 3-4. 353-358.

