

Avaliação da concentração de radão nas águas minerais naturais nos estabelecimentos termais Portugueses

Ana Sofia Silva, Maria de Lurdes Dinis

¹ CERENA, FEUP/UP - Centre for Natural Resources and the Environment, Faculty of Engineering, University of Porto; pee11022@fe.up.pt;

² PROA/LABIOME - Research Laboratory on Prevention of Occupational and Environmental Risk; Faculty of Engineering, University of Porto

Resumo: As águas minerais naturais usadas em tratamentos terapêuticos nos estabelecimentos termais apresentam composições químicas diversificadas, contendo por vezes quantidades significativas de radionuclídeos naturais, como é o caso do radão. O objetivo deste estudo foi avaliar a concentração de radão das águas minerais naturais nas captações (furo e nascente) e nos locais de tratamento (buvete, emanatório, técnicas de inaloterapia-ORL, piscina termal e duche vichy) de 17 estabelecimentos termais Portugueses, tendo como principal foco a exposição ocupacional. Foram realizadas 54 colheitas de água mineral natural nas captações e nos locais de tratamento destes estabelecimentos termais. Os resultados obtidos para a concentração de radão na água variam entre 0.1 e 6949 Bq/L, com uma média geométrica de 175 Bq/L e média aritmética de 842 Bq/L. Verificou-se que 50 % dos resultados obtidos para a concentração de radão na água mineral natural são superiores ao nível de referência preconizado pela UE (100 Bq/L), enquanto 20 % dos resultados excederam o limite de ação (1000 Bq/L). Por outro lado, 26% dos resultados ultrapassam o valor paramétrico previsto no DL 23/2016 (500 Bq/L). Em alguns casos, os elevados valores obtidos na água mineral natural são preocupantes, podendo implicar elevadas concentrações de radão no ar interior e consequentemente a exposição ocupacional ao radão.

Palavras-chave: radão, água mineral natural, estabelecimentos termais.

Assessment of radon concentration in natural mineral waters in Portuguese thermal establishments

Abstract: The natural mineral waters used in therapeutic treatments in thermal establishments have diverse chemical compositions, sometimes containing significant amounts of natural radionuclides, such as radon. The objective of this study was to evaluate the radon concentration of natural mineral waters in the hole and spring, and in the treatment sites (buvette, emanatory, inhalation-ORL techniques, thermal pool and vichy shower) of 17 Portuguese thermal establishments focusing on occupational exposure. Fifty-four samples of natural mineral water were collected in the abstractions and treatment sites of these thermal establishments. The results obtained for the radon concentration in water vary between 0.1 and 6949 Bq/L, with a geometric mean of 175 Bq/L and arithmetic mean of 842 Bq/L. It was found that 50% of the results obtained for the radon concentration in the natural mineral water were higher than the reference level recommended by the EU (100 Bq/L), while 20% of the results exceeded the action limit (1000 Bq/L). On the other hand, 26% of the results exceed the parametric value provided in Decree-Law 23/2016 (500 Bq/L). In some cases, the high values obtained in natural mineral water are worrisome and may involve high concentrations of radon in indoor air and consequently occupational exposure to radon.

Keywords: radon, natural mineral water, thermal establishments.

1. Introdução

Em Portugal, existe uma longa tradição no uso de águas minerais naturais para fins medicinais (termalismo). A nível social, a utilização da água mineral natural na prestação de diversos serviços nos estabelecimentos termais é muito frequente. Muitas destas águas podem conter elementos radioativos naturais como é o caso do radão, sendo provável que tanto os trabalhadores como o público em geral possam ter estado ou estão expostos à radiação de origem natural no contexto termal (Bettencourt et al., 1988; Mueller, 1998; Darby, 2005; Tarim et al., 2012; Vogiannis & Nikolopoulos, 2015; Mittal, et al., 2016; Silva et al., 2016).

Os elementos radioativos presentes, em maior parte, nas fontes de radiação natural são o U (urânio), o Th (tório) e o K-40 (potássio-40). O urânio pode ser encontrado naturalmente na crosta terrestre (rochas e solos) ou ainda dissolvido nas águas subterrâneas sob a forma de três isótopos: ^{234}U , ^{235}U e ^{238}U , no entanto, a sua proporção na crosta terrestre é bastante diferente: 0.0054%, 0.7204% e 99.2742%, respetivamente, pelo que a série de decaimento do ^{238}U é a de maior preocupação.

Os estabelecimentos termais utilizam águas subterrâneas com composições químicas diversificadas, podendo conter quantidades significativas de radionuclídeos naturais (Silva et al., 2013; Müllerova, et al., 2016; Walczak, et. al., 2016). A exposição ao radão e aos seus produtos de decaimento ocorre predominantemente nas habitações e/ou nos locais de trabalho através de duas vias de entrada: por via da ingestão da água ou por inalação, sabendo que parte do gás presente no ar pode provir da libertação do radão quando se utilizam águas minerais naturais para fins terapêuticos ou para consumo (Koray et al., 2014; Nikolov et al., 2014; Silva & Dinis, 2016).

A libertação do radão da água para o ambiente ocorre quando esta entra em contacto com o ar, uma vez que o gás radão tem solubilidade muito diferente nos dois meios, e o coeficiente de partição é favorável ao ar. A proporção de radão transferido da água para o ar depende fundamentalmente da sua concentração, geralmente mais elevada nas águas subterrâneas, do volume e do grau de arejamento da água consumida e do processamento a que a água é sujeita nos circuitos e locais de utilização (ITN, 2010; Tarim et al., 2012).

Na água subterrânea, a concentração de radão pode variar consideravelmente (de 1 a 10 000 Bq/L), dependendo principalmente da concentração de urânio na rocha circundante e da circulação de água (Radolic et al., 2005), pelo que os níveis de concentração de radão nas águas subterrâneas são geralmente mais elevados do que nas águas superficiais (rios e lagos) (Nikolov et al., 2012; Erdogan et al., 2013). Em Portugal, as águas de superfície apresentam frequentemente concentrações de radão inferiores a 10 Bq/L, enquanto as águas subterrâneas apresentam concentrações de radão por vezes superiores a 1000 Bq/L.

No caso da concentração de radão na água mineral natural verifica-se que, por vezes, os valores ultrapassam o nível de ação recomendado pela União Europeia (2001/928/EURATOM) para água potável (1000 Bq/L).

No passado, a presença de radão das águas minerais naturais era considerado benéfico, hoje tal não se verifica, uma vez que é praticamente desvalorizado sob o ponto de vista de interesse terapêutico, a não ser e em sentido negativo, em termos de segurança.

O objetivo deste estudo foi avaliar a concentração de radão das águas minerais naturais nas captações (furo e nascente) e nos locais de tratamento (buvete, emanatório,

técnicas de inaloterapia-ORL, piscina termal e duche vichy) de 17 estabelecimentos termais Portugueses (Tabela 1), entre 2013 e 2015.

Tabela 1 – Identificação dos estabelecimentos termais que participaram no estudo

Distrito	Concelho	Estabelecimento Termal
Aveiro	Mealhada	Luso
Braga	Guimarães	Taipas
Viseu	S. Pedro Sul	S. Pedro do Sul
Viseu	Nelas	Felgueira
Bragança	Carrezeda de Ansiães	S. Lourenço
Viseu	Viseu	Alcáface
Braga	Amares	Cadelas
Braga	Terras do Bouro	Moimenta
Porto	Penafiel	Entre-os-Rios
Guarda	Manteigas	Manteigas
Guarda	Sabugal	Cró
Viana do Castelo	Monção	Monção
Castelo Branco	Covilhã	Unhais da Serra
Viseu	Tondela	Sangemil
Guarda	Meda	Longroiva
Porto	Santo Tirso	Caldas Saúde
Leiria	Caldas da Rainha	Caldas da Rainha

2. Revisão de conceitos e da literatura

2.1. Águas Minerais Naturais

São da Antiguidade Clássica os Banhos de Scotussa e os de *Epidauro* (Grécia) que atraíam multidões e eram célebres pelas curas aí obtidas. Vários estabelecimentos termais portugueses foram frequentados pelos romanos, permanecendo vestígios dessa presença em Conímbriga, Monte Real, S. Pedro do Sul, entre outras.

Os reis foram grandes utilizadores ou defensores do uso das termas, como por exemplo: Afonso II, das Astúrias e de Leão; Afonso V, de Leão e de Castela; D. Afonso Henriques, que tratou as sequelas do seu desastre em Badajoz em S. Pedro do Sul; a Rainha D.^a Leonor de Lencastre que, por sua vez, fundou o hospital Termal das Caldas da Rainha.

Uma das propriedades essenciais da água é a sua capacidade de dissolver muitos elementos bem como as mais diversas substâncias, em maiores quantidades do que qualquer outro líquido. Contribuem também para a gradual desagregação das rochas. As águas minerais naturais são consideradas do domínio público e exploradas através de concessão hidromineral. A utilização destas águas no território português é anterior à fundação da nacionalidade. Os povoados construídos nas imediações de fontes ou de nascentes termais tomaram a designação de “caldas”, “termas” ou “banhos”, de acordo com o período histórico em que a designação se estabeleceu. Portugal é um país rico em ocorrências de águas minerais naturais e de nascente. Muitas destas águas são aproveitadas para a vertente de termalismo e de engarrafamento. É na região centro que se localiza o maior número de estabelecimentos termais do país, assim como o estabelecimento termal com maior frequência (Termas de S. Pedro do Sul) e a água engarrafada de maior produção (Termas do Luso).

As águas minerais diferem das águas comuns por determinadas características e composição físico-química específica que lhes conferem capacidade de terem efeitos benéficos na saúde das pessoas, nomeadamente: temperatura de emergência, acidez, mineralização, quimismo e radioatividade.

Segundo a DGS, a classificação das águas minerais naturais é baseada nos seguintes parâmetros:

i) Temperatura de emergência:

As causas principais da termalidade das águas, por ordem de importância são: geotermismo, vulcanismo, presença de águas juvenis e águas magmáticas e reações químicas exotérmicas. A classificação segundo este parâmetro é apresentada na Tabela 2:

Tabela 2 - Classificação das águas minerais naturais segundo a temperatura (Diegues, 2010)

Classificação	Temperatura de emergência (°C)
Hipotermas	< 25 °C
Mesotermas	25-35 °C
Termas	35-40 °C
Hipertermas	> 40 °C

ii) Acidez

O pH é por definição, o logaritmo (decimal) do inverso da concentração hidrogeniônica na água, expressa em hidrogeniões grama por litro. A classificação das águas minerais naturais segundo o pH encontra-se descrita na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação das águas minerais naturais segundo o pH

Classificação	pH
Águas ácidas	pH < 7
Águas neutras	pH = 7
Águas alcalinas	pH > 7

iii) Mineralização

A mineralização é a quantidade total de sais minerais dissolvidos na água, como por exemplo, cloretos, sulfatos, etc. (Tabela 4).

Tabela 4 - Classificação das águas minerais naturais segundo a mineralização total

Classificação	Mineralização Total
Águas Hipossalinas	< 200 mg/l
Águas Fracamente Mineralizadas	200 – 1000 mg/l
Águas Mesossalinas	1000 – 2000 mg/l
Águas Hipersalinas	> 2000 mg/l

Nas análises físico-químicas das águas, a mineralização total é a soma das quantidades dos aniões, dos catiões e da sílica.

iv) Quimismo

Os aniões ocorrem nas águas em concentrações maiores e menores. É a percentagem de determinado anião que determina a classificação inicial de uma água. Por exemplo: bicarbonatadas, cloretadas, sulfuradas e sulfatadas (Tabela 5).

Tabela 5 - Classificação das águas minerais naturais segundo o quimismo

Classificação	Quimismo das águas
Águas sulfúreas	Contendo o ião HS^- e águas sulfídricas se contiverem ácido sulfídrico livre e tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$)
Águas férreas	Águas contendo o ião Fe^{2+} em teor superior a 3 mg/L
Águas cloretadas	Contendo o ião cloreto (Cl^-)
Águas bicarbonatadas	Contendo o ião HCO_3^-
Águas sódicas	Contendo o ião Na^+
Águas sulfatadas	Contendo o ião sulfato (SO_4^{2-})
Águas alumínicas	Águas contendo o ião Al^{3+} em teor superior a 1 mg/L
Águas fluoretadas	Águas contendo o ião fluoreto F^- em teor superior a 1 mg/L
Arsenicais	Contendo vestígios de arsénio
Litiadas	Contendo lítio em teor superior a 3 mg/L
Borosilicatadas	Contendo boro e silício

Os catiões ocorrem nas águas em concentrações variáveis e determinam a classificação secundária de uma água, a partir da classificação por aniões, como por exemplo, bicarbonatadas sódicas ou cálcicas, cloretadas sódicas ou calcárias, etc.. As águas minerais contêm ainda um conjunto de elementos, embora em concentrações muito pequenas (na ordem de microgramas por litro), sobretudo metais (boro, alumínio, manganês, ferro), que constituem a sua componente vestigial. Na Figura 1 apresenta-se a distribuição das águas minerais naturais em Portugal Continental segundo o quimismo.

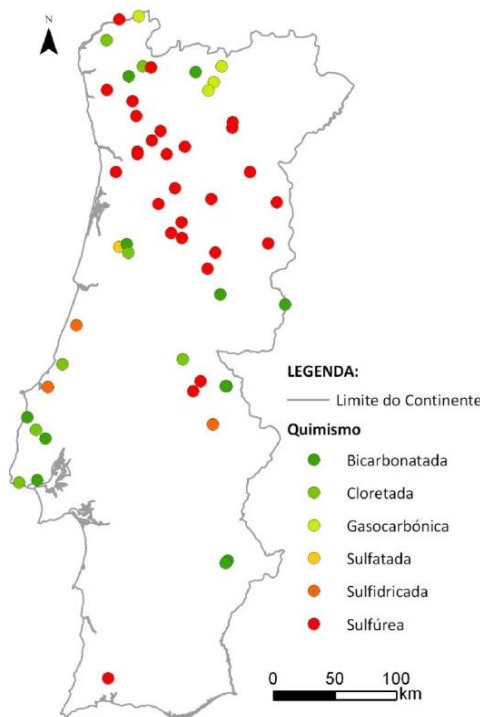


Figura 1 - Distribuição e quimismo das águas minerais naturais em Portugal Continental (Ferreira, 2009).

O maior número de estabelecimentos termais em Portugal desenvolveu-se em emergências de águas sulfúreas. No entanto, existe uma boa diversidade de oferta terapêutica decorrente da existência de balneários com os diversos tipos de água referidos.

Em alguns estabelecimentos termais desenvolveu-se a indústria de engarrafamento, que não é objeto de estudo neste trabalho. A composição das águas minerais naturais dos estabelecimentos termais em estudo encontra-se descrita na Tabela 6.

Tabela 6 – Composição das águas minerais naturais dos estabelecimentos termais em estudo

Estabelecimento termal	Temperatura de emergência	Acidez	Mineralização	Quimismo das águas	Radioatividade
Caldas da Felgueira	Termais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica, fluoretada	Fortemente radioativas
Caldas de Manteigas	Hipertermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada-fluoretada, sódica	Radioativas
Caldas da Rainha	Termais	Alcalina	Hipersalina	Sulfúrea, cloretada sódica	Não
Caldas da Saúde	Mesotermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, cloretada, sódica	Não
Caldas de S. Lourenço	Mesotermais	Alcalina	Sem informação	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica	Não
Caldas das Taipas	Mesotermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica	Não
Termas de Alcafache	Hipertermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada sódica	Fortemente radioativas
Termas de Caldelas	Termais	Ácida	Hipossalina	Bicarbonatada cálcica	Não
Termas do Cró	Hipotermas	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica	Radioativas
Termas de Entre-os-Rios	Hipotermas	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica	Fortemente radioativas
Termas de Longroiva	Mesotermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, Sódica	Radioativas
Termas do Luso	Mesotermais	Ácida	Hipossalina	Cloretada sódica	Fortemente radioativas
Termas de Moimenta	Hipotermas	Alcalina	Sem informação	Sem informação	Não
Termas de Monção	Hipertermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica	Não
Termas de Sangemil	Hipertermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica	Fortemente radioativas
Termas de S. Pedro do Sul	Hipertermais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, bicarbonatada, sódica	Radioativas
Termas de Unhais da Serra	Termais	Alcalina	Fracamente mineralizada	Sulfúrea, Bicarbonatada sódica	Fortemente radioativas

2.2. Radioatividade das águas minerais naturais

No passado, o conteúdo de radão das águas minerais naturais era considerado benéfico, em particular, para o sistema imunológico, hoje tal não se verifica, uma vez que é praticamente desvalorizado sob o ponto de vista de interesse terapêutico, a não ser e em sentido negativo, em termos de proteção radiológica. Em Portugal, M. D'Almeida e J. D. Almeida, no inventário hidrológico de Portugal, de 1975, respeitam ainda a classificação de “*não radioativas*” e “*radioativas*” – estas quando com radioatividade superior a 20 Bq/L e, por sua vez, subdivididas em “*fracamente radioativas*” ($> 21.43 < 101.75$ Bq/L), “*bastante radioativas*” ($> 101.75 < 203.5$ Bq/L), “*fortemente radioativas*” ($> 203.5 < 407$ Bq/L) e “*muito fortemente radioativas*” (> 407 Bq/L) (D'Almeida & De Almeida,

1975). Por uma razão de simplificação, é hoje defendida uma classificação mais simples, conforme ilustra a Tabela 7.

Tabela 7 - Classificação das águas minerais naturais quanto à radioatividade (adaptado de Teixeira, 2012).

Classificação	Radioatividade em termos de radão
Águas não radioativas	< 20 Bq/L
Águas radioativas	20 - 51 Bq/L
Águas fortemente radioativas	> 51 Bq/L

As termas portuguesas consideradas “mais radioativas”, não pelo teor de radão mas porque tinham significativa quantidade de rádio, eram as Termas de Caria, sito a sul de Belmonte, desativadas há muitos anos (Teixeira, 2012). Porém, importa referir que algumas águas hipomineralizadas e/ou hipomineralizadas sulfúreas principalmente da região Centro, pela sua natureza e pelos terrenos que atravessam (terrenos xisto-graníticos com mineralizações secundárias de urânio associadas), são também águas com a presença de alguns elementos radioativos. Pelo contrário, existem águas nos terrenos do Secundário ou do Terciário e Quaternário, tais como Curia e Azenha, praticamente desprovidas de presença de elementos radioativos (da ordem dos 4.1 Bq/L).

2.3. Enquadramento geológico-estrutural

A maioria das nascentes termais existentes em Portugal Continental (com temperaturas de emergência entre os 20 °C e os 76 °C) encontra-se localizada na região Norte/Centro do País, fruto das características geológicas e estruturais distintas da restante parte do território Português. Em Portugal Continental podemos localizar três unidades fundamentais, distintas, quer do ponto de vista cronológico, quer da estrutura de terrenos. Essas unidades morfoestruturais são: i) *Maciço Hespérico*; ii) *Orlas Mesocenozóica Ocidental ou Lusitana e Orla Meridional ou Algarvia* e iii) *Bacia Cenozóica do Tejo e do Sado*, pelo que as ocorrências de águas termais apresentam características consideravelmente distintas (Figura 2).

Relativamente ao *Maciço Hespérico*, as nascentes termais encontram-se preferencialmente localizadas ao longo de alinhamentos de orientação NNE, NE e ENE e associadas a rochas granitóides e xistosas, assim como a filões quartzosos ricos de mineralização de sulfuretos. Tratam-se de águas essencialmente sulfúreas, fracamente mineralizadas, encontrando-se algumas bicarbonatadas e gasocarbónicas, estas últimas apresentando mineralização elevada. As águas hipossalinas parecem correlacionar-se, principalmente, com ambientes geológicos onde predominam rochas quartzíticas.

No caso da *Orla Meso-Cenozóica Ocidental* a geologia é dominada por extensas formações sedimentares. As nascentes termais ocorrem junto às falhas que originam os vales tifónicos das áreas de diapirismo gipso-salino. Como resultado, estas águas são cloretadas-bicarbonatadas-sódicas, sendo de realçar igualmente a presença de águas termais sulfatadas-cálcicas. São águas hipersalinas com valores de pH próximo da neutralidade. Na *Orla Mesocenozóica Ocidental ou Lusitana e Orla Meridional* as águas termais são essencialmente bicarbonatadas-sódicas e bicarbonatadas-cálcicas devido à interação com rochas ígneas e sedimentares, respetivamente.

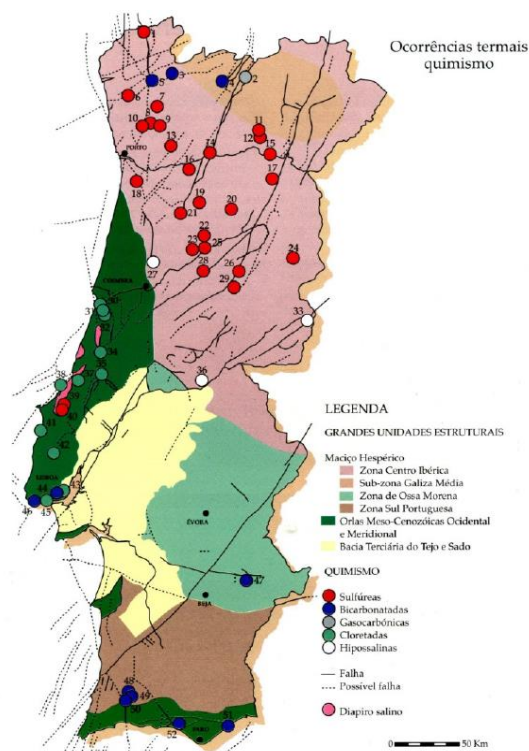


Figura 2 - Localização das ocorrências termais de Portugal Continental e sua relação com as grandes unidades estruturais (IGM, 1998).

A temperatura de emergência que a maioria destas águas apresenta (40 °C a 45 °C) permite uma variedade de aplicações terapêuticas (balneoterapia), aquecimento urbano, aquecimento de estufas, piscicultura, etc., tornando-as igualmente num recurso geotérmico com grandes potencialidades futuras. Um exemplo disso são as Termas de S. Pedro do Sul, que aproveitam a temperatura da água para geotermia.

Relativamente à litologia, nomeadamente quanto à informação química das rochas, apenas a carta geológica 17A – Viseu (Termas de Alcafache e Termas de S. Pedro do Sul) apresenta estes dados. No caso das Termas de Alcafache os valores da concentração em mg/kg em K, Th e U são: 40800 ± 1260 , 20.4 ± 1.2 e 7.4 ± 1.2 , respetivamente. Para as Termas de S. Pedro do Sul os valores da concentração em K, Th e U são: 46600 ± 1530 , 118 ± 7.1 e 9.4 ± 1.0 mg/kg, respetivamente. Em termos hidrogeológicos, e relativamente ao parâmetro da permeabilidade, as cartas geológicas referem que todos os estabelecimentos termais possuem uma permeabilidade secundária do tipo fissural ao longo do sistema de falhas e fraturas do maciço, com exceção da carta geológica 26 D – Caldas da Rainha (sem informação disponível).

Quanto ao potencial radiogénico, nomeadamente informação das concentrações de elementos radiogénicos, como o U e Th, apenas a carta geológica 17 A – Viseu possui esta informação. No caso das Termas de Alcafache as concentrações de U e Th são 7.4 ± 1.2 e 20.4 ± 1.2 ppm, respetivamente. Nas Termas de S. Pedro do Sul as concentrações de U e Th são 8.5 ± 1.4 e 12.1 ± 3.9 ppm, respetivamente. Esta mesma carta geológica refere ainda que o potencial de radão no ar interior é elevado para as Termas de Alcafache e Termas de S. Pedro do Sul.

2.4. Evidência dos efeitos na saúde

O radão encontra-se dissolvido na água mineral natural podendo ser libertado para o ar interior e a inalação deste radionuclídeo e, em particular, o posterior decaimento para os seus elementos sólidos no interior do organismo, expõe as membranas mucosas dos brônquios a um elevado nível de radiação α com o consequente risco de formação de neoplasias (Schmid et al., 2010). O radão é a principal causa de incidência de cancro do pulmão, com exceção do tabaco (UNSCEAR, 2000, 2006; DGS, 2002; Darby, 2005; IAEA, 2003; WHO, 2007, 2009; Al Zoughool et al., 2009; EPA, 2013; Erdogan et al., 2013).

Após a inalação, o gás radão entra em contacto com os tecidos pulmonares podendo provocar alterações degenerativas do tecido exposto (ATSDR, 2010). A evidência da relação e a incidência do cancro do pulmão com a exposição ao radão teve origem em estudos epidemiológicos realizados com mineiros, em especial das minas de urânio, potencialmente expostos a elevados níveis de radão, juntamente com outros produtos químicos, radioativos e material particulado (Al Zoughool et al., 2009) e, recentemente, em estudos epidemiológicos realizados em populações de regiões com níveis de radão elevados.

2.5. Enquadramento normativo

No sentido de minimizar os efeitos nocivos da exposição às radiações ionizantes, foram publicadas diversas recomendações nos últimos anos definidas a um nível europeu e transpostas para a legislação vigente em Portugal. O Decreto-Lei n.º 23/2016 de 3 de junho estabelece os requisitos para a proteção da saúde do público em geral no que diz respeito às substâncias radioativas presentes na água destinada ao consumo humano, fixando o valor paramétrico para o radão em 500 Bq/L e sempre que a concentração de radão exceda 1000 Bq/L considera-se que se justificam medidas de correção por motivos de proteção radiológica.

Por outro lado, as recomendações da OMS apontam para a necessidade de controlo quando a concentração de radão na água para consumo do público excede 100 Bq/L. Contudo, a Comissão Europeia através da Recomendação 2001/928/EURATOM, relativa à proteção da população contra a exposição ao radão no abastecimento de água potável (abastecimentos públicos), estabeleceu um nível de referência de 100 Bq/L e um nível de ação de 1000 Bq/L, ao qual deverá ser efetuada uma ação de correção justificada com base na proteção radiológica. Uma vez que as águas minerais pressupõem uma utilização pontual não há valor de referência como limite para a concentração de radão. A diretiva 2013/51/EURATOM de 22 de outubro, que estabelece os requisitos para a proteção da saúde pública em geral, no que diz respeito aos elementos radioativos presentes na água destinada ao consumo humano, prevê um valor paramétrico para o radão de 100 Bq/L (a Diretiva não é aplicável às águas minerais naturais).

3. Materiais e Métodos

A avaliação da concentração de radão na água foi realizada em diversos locais de cada estabelecimento termal (ET) em que se verificasse a permanência do trabalhador, além da presença e manuseio de água mineral natural durante os tratamentos terapêuticos: buvette, emanatório, ORL, duche vichy, piscina termal, furo, captação e nascente. A atividade dos radionuclídeos nas amostras de água recolhidas foi medida por meio de técnicas de contagem de cintilação líquida (LSC) usando um espectrómetro de

ultra-baixo nível (Quantulus 1220) no Laboratório de Radioatividade Natural da Universidade de Coimbra (LRNUC).

Na deslocação aos estabelecimentos termais foi preenchido o “*Questionário do estabelecimento termal*” (previamente validado por peritos na área), encontrando-se dividido em 3 secções: i) identificação do estabelecimento termal; ii) matéria-prima (n.º de captações) e iii) instalações e equipamento. As principais variáveis extraídas do questionário, atendendo aos objetivos do estudo, são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Variáveis do “Questionário do estabelecimento termal”

Secção	Questão
Identificação	Época termal
	N.º total de trabalhadores
	Antiguidade dos trabalhadores
	Rotatividade dos trabalhadores
	N.º termalistas/ano
	Indicações terapêuticas
Matéria-prima	N.º captações
Instalações e equipamento	Tipo de construção
Avaliação de riscos	Avaliação de riscos para a segurança e saúde dos trabalhadores
	Já foi feito algum estudo/medição de radão
Pessoal	Os trabalhadores recebem formação adequada no domínio da segurança e saúde no trabalho, tendo em conta as respetivas funções e o posto de trabalho
Segurança e manutenção das instalações	Possui plano de controlo radiológico das instalações
	Todos os locais dispõem de ventilação diretamente para o exterior
Abastecimento de água	Existência de rede pública de abastecimento de água
Climatização	Existência de equipamentos de climatização, que permitam o aquecimento e/ou arrefecimento
Gabinetes médicos	Existência de iluminação e ventilação naturais
Locais de tratamento termal	Existência de piscina

Para realizar as medições de radão, as amostras de água foram recolhidas com uma seringa em cada ponto de água (10 ml) e cuidadosamente vertida para frascos de vidro com 20 ml de volume, onde previamente foram adicionados 10 ml de cocktail de cintilação imiscível em água (Betaplate, da Perkin – Elmer ®). O frasco tem uma abertura selada e mecanismos de segurança para evitar vazamento de gás durante o transporte.

Para a medição do gás radão foi utilizado o método de dupla-fase (ASTM, 1990). As incertezas dependem da atividade mas, em geral, foram inferiores a 15 %, na gama de valores de medição. Para uma descrição mais detalhada sobre as técnicas LSC ver Gonçalves e Pereira (2007). A eficiência do método foi avaliada através da medição de várias soluções padrão e através da participação do LRNUC em exercícios de inter-comparação (Gonçalves & Pereira, 2007).

4. Discussão dos Resultados

4.1. Caracterização dos estabelecimentos termais

O questionário apresenta uma primeira secção que aborda questões ligadas à caracterização da época termal, horário de funcionamento, género, antiguidade no posto de trabalho, rotatividade e número de termalistas por ano. Estes critérios foram definidos no sentido de obter toda a informação relevante da concentração de radão na água de cada estabelecimento termal.

Assim, através da análise dos questionários foi possível obter os seguintes resultados:

- i) dos estabelecimentos termais que participaram no estudo, 67 % funcionam sazonalmente, aproximadamente entre os meses de abril a novembro, enquanto 33 % funcionam anualmente;
- ii) o número de trabalhadores afetos a todos os estabelecimentos termais estudados são 301, sendo maioritariamente mulheres (211);
- iii) aproximadamente 50 % dos trabalhadores dos estabelecimentos termais possui uma antiguidade do posto de trabalho entre 5-10 anos;
- iv) quanto à rotatividade no posto de trabalho, apenas em um estabelecimento termal (ET10) não se verifica esta rotatividade apesar de ter 4 trabalhadores com mais de 20 anos de serviço;
- v) O estabelecimento termal com maior número de termalistas é o ET3, visto ser um dos estabelecimentos mais antigos e com funcionamento anual, seguido do ET7 e ET6. O estabelecimento termal com menos termalistas é o ET8, devido à recente abertura;
- vi) nenhum estabelecimento termal possui um plano de controlo radiológico;
- vii) quatro estabelecimentos termais: ET1, ET3, ET4 e ET14, referiram já terem sido efetuadas medições de radão no ar interior, no âmbito de trabalhos académicos;
- viii) todos os estabelecimentos termais afirmaram ter serviços de segurança e saúde no trabalho;
- ix) apenas 3 estabelecimentos termais não possuem piscina termal (18 %): ET5, ET8 e ET9.
- x) quanto ao tipo de ventilação existente nos estabelecimentos termais, apenas existem 2 situações: i) existência de ventilação natural (VN); ii) existência de ventilação natural e ventilação mecânica (VN/VM).

4.2. Concentração de radão na água mineral natural

Os valores obtidos para a concentração de radão na água mineral natural dos 17 estabelecimentos termais encontram-se representados na Tabela 9. Verifica-se que a concentração de radão na água mineral natural dos estabelecimentos termais estudados é bastante variável: entre 0.1 e 6949 Bq/L, com média geométrica de 175 Bq/L e média aritmética de 842 Bq/L. Pela análise da tabela, verifica-se que 50% dos resultados (27 em 54) são superiores ao nível de referência da União Europeia 2001/928/ EURATOM (100 Bq/L); 20% dos valores (11 em 54) são superiores ao limite de ação (1000 Bq/L) e 26%

dos valores (14 em 54) são superiores ao valor paramétrico previsto no Decreto-Lei n.º 23/2016 de 3 de junho (500 Bq/L).

Tabela 9 – Concentração de radão (Bq/L) na água mineral natural dos estabelecimentos termais estudados

ET	Buvete	Emanatório	ORL	Piscina Termal	Furo		Captação	Nascente	Duche Vichy
					1	2			
ET1	968	785	976	6	--	--	--	--	--
ET2	59	--	26	--	41	--	--	--	--
ET3	--	--	51	15	120	--	86	--	--
ET4	--	--	112	--	759	380	--	--	--
ET5	--	--	5195	--	6949	6775	--	--	--
ET6	--	--	1137	718	1373	1334	--	--	--
ET7	471	--	102	--	1446	423	--	478	--
ET8	--	--	44	--	57	53	--	--	--
ET9	--	--	75	--	41	--	--	--	45
ET10	--	--	20	1	47	48	--	--	--
ET11	--	--	120	0.1	69	--	--	--	--
ET12	--	--	--	--	199	452	--	--	--
ET13	--	--	127	--	189	--	--	--	--
ET14	--	--	2624	953	3090	3601	--	--	2549
ET15	--	--	28	0.1	57	--	--	--	--
ET16	--	--	63	10	47	--	--	--	--
ET17	--	--	--	--	32	--	--	23	--

A totalidade dos resultados obtidos foi agrupada em 3 categorias, de acordo com a concentração de radão na água e os valores para o nível de referência e limite de ação: i) inferior ao nível de referência (100 Bq/L); ii) superior ao nível de referência mas inferior ao limite de ação (100 – 1000 Bq/L); iii) superior ao limite de ação (1000 Bq/L) (Tabela 10).

Tabela 10 - Resultados globais obtidos nos estabelecimentos termais (concentração de radão na água, Bq/L)

	< 100	100-1000	> 1000
	ET1	ET1	--
Concentração de radão na água (Bq/L)	ET2	--	--
	ET3	ET3	--
	--	ET4	--
	--	--	ET5
	--	ET6	ET6
	--	ET7	--
	ET8	--	--
	ET9	--	--
	ET10	--	--
	ET11	ET11	--
	--	ET12	--
	--	ET13	--
	--	ET14	ET14
	ET15	--	--
	ET16	--	--
	ET17	--	--

Assim, verifica-se que a concentração de radão na água no ET2, ET8, ET9, ET10, ET15, ET16 e ET17 não excederam o nível de referência da União Europeia 2001/928/EURATOM, 100 Bq/L. De facto, a água mineral natural dos estabelecimentos termais: ET2, ET8, ET16 e ET17 estão classificadas, segundo a concentração de radão, como não radioativas (Diegues et al., 2010).

No entanto, as águas minerais naturais dos ET9, ET10 e ET15 estão classificadas como sendo fortemente radioativas (ET9) e radioativas (ET10 e ET15) (Idem), apesar dos resultados das colheitas efetuadas em diferentes pontos destes estabelecimentos termais (interior do estabelecimento termal, captação e furo) não excederem o nível de referência e nível de ação. Contudo, existem casos em que a água do estabelecimento termal tem uma concentração de radão superior ao nível de referência como é o caso do ET4, ET7, ET12 e ET13. Em particular para os ET4 e ET13, as águas minerais naturais estão classificadas como sendo fortemente radioativas (Idem). Nos restantes estabelecimentos termais, ET7 e ET12, as águas são classificadas como não radioativas, contrariando os resultados obtidos em diversos pontos destes estabelecimentos termais.

Quanto aos resultados que excederam o limite de ação, 1000 Bq/L, apenas se destacam três estabelecimentos termais: ET5, ET6 e ET14. Com exceção do ET5 (abertura recente) as águas minerais naturais do ET6 e ET14 estão classificadas como fortemente radioativas. A razão da elevada concentração de radão na água natural do ET5 prende-se fundamentalmente com o enquadramento geológico e estrutura do maciço Hespérico. Este estabelecimento termal situa-se numa região granítica, na dependência da fracturação do maciço Hespérico de direção dominante NE-SW (Pereira et al., 2008).

Verifica-se ainda que em alguns estabelecimentos termais, os resultados da concentração de radão na água são inferiores a 100 Bq/L (ET1, ET2, ET3, ET8, ET9, ET10, ET11, ET15, ET16 e ET17) mas também superiores a 100 Bq/L e inferiores a 1000 Bq/L em alguns locais do mesmo estabelecimento termal (ET1, ET4, ET6, ET7, ET11, ET12, ET13 e ET14). Os locais em que os valores da concentração de radão na água são inferiores a 100 Bq/L são na piscina termal, devido ao facto da água da piscina não ser substituída diariamente e por vezes ser misturada com água da torneira (com cloro). Por outro lado, os valores da concentração de radão são superiores a 1000 Bq/L em diversos locais do ET1, no furo do ET3 e na ORL do ET11. No ET3, a concentração de radão na água do furo é ligeiramente superior a 100 Bq/L (120 Bq/L), pelo que a concentração de radão na água no interior do estabelecimento termal é inferior ao nível de referência, tal como esperado. No ET6 e ET14 os resultados da concentração de radão na água são inferiores ao limite de ação (mas superiores ao nível de referência) apenas na piscina termal, uma vez que nos restantes locais do estabelecimento termal todos os valores são superiores a 1000 Bq/L.

5. Conclusões

O presente estudo, que apenas abrange uma parte dos estabelecimentos termais existentes em Portugal (45%) e que se mostraram disponíveis para participar no mesmo, revelou através do “Questionário ao estabelecimento termal” que a antiguidade do posto de trabalho é superior a 20 anos para 22% dos trabalhadores. Isto significa que, mediante os valores obtidos para a concentração de radão em alguns estabelecimentos termais, parte dos trabalhadores estão expostos a doses efetivas superiores aos limites estabelecidos pela legislação comunitária durante um longo período de tempo, com os riscos associados para a saúde neste tipo de exposição.

Por outro lado, a rotatividade do posto de trabalho torna-se importante na exposição ocupacional ao radão, uma vez que a concentração de radão na água é diferente nos diversos locais do mesmo estabelecimento termal, pelo que a dose anual pode ser reduzida com esta rotatividade.

Contudo, os estabelecimentos termais referiram possuir serviços de segurança e saúde no trabalho, no entanto, nenhum aplica os requisitos de vigilância, monitorização e proteção radiológica aos trabalhadores.

O tipo de ventilação mais comum em todos os estabelecimentos termais é a ventilação natural, com a exceção da área da piscina termal (nos casos em que existe), em que é a ventilação mecânica. O sistema e tipo de ventilação é essencial para fazer baixar os níveis de concentração de radão no ar interior, provenientes da água e não só. Assim, nos casos em que existe apenas a ventilação natural, esta poderá não ser suficiente para reduzir a concentração de radão.

A amostragem da concentração de radão na água mineral natural revelou por vezes valores superiores, quer ao nível de referência quer ao limite de ação. Os elevados valores obtidos em alguns casos são preocupantes e mostram a necessidade de um estudo mais pormenorizado e alargado, quer no espaço quer no tempo. Aproximadamente, 50 % dos resultados obtidos para a concentração de radão na água mineral natural são superiores ao nível de referência preconizado pela UE, enquanto 20 % dos resultados excederam o limite de ação. Estes resultados podem implicar ainda elevadas concentrações de radão no ar interior (e consequentemente a exposição ocupacional ao radão), uma vez que a água mineral natural constituirá uma fonte contínua deste radionuclídeo.

Em trabalhos futuros, importa estender este estudo a todos os estabelecimentos termais existentes em Portugal e desenvolver um programa de monitorização da concentração de radão no interior das instalações dos mesmos, ao longo de um período de tempo suficientemente longo (aproximadamente 1 ano) com o objetivo de contemplar as elevadas flutuações da concentração de radão ao longo do tempo e se possível estabelecer uma correlação entre a concentração de radão na água e a concentração de radão no ar interior.

6. Referências bibliográficas

- Al Zoughool, M. & Krewski, D. (2009). Health effects of radon: a review of the literature. *International Journal of Radiation Biology*, 85(1): 57-69. doi:10.1080/09553000802635054.
- ASTM D5072-09e1 (1990). Standard Test Method for Radon in Drinking Water, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
- ATSDR (2010). Radon Toxicity. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Bettencourt, A.O., Teixeira, M.M.G.R., Faisca, M.C., Vieira, I.A., & Ferrador, G.C. (1988). Natural radioactivity in Portuguese mineral waters. *Radiation Protection Dosimetry*, 24(1-4), 139-142.
- Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., Barros-Dios, J.M., Baysson, H., Bochicchio, F., Deo, H., Falk, R., Forastiere, F., Hakama, M., Heid, I., Kreinbrock, L., Kreuzer, M., Lagarde, F., Mäkeläinen, I., Muirhead, C., Oberaigner, W., Pershagen, G., Ruano-Ravina, A., Ruosteenoja, E., Rosario, A.S., Tirmarche, M., Tomásek, L., Whitley, E., Wichmann, H.E. & Doll, R., (2005). Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* 330(7845): 223-227.
- D'Almeida, A. & De Almeida J. (1975). Inventário Hidrológico de Portugal, 3º Volume. Minho, Instituto de Hidrologia de Lisboa.

- DGS (2002) Vinte Anos de Diagnóstico Precoce, Edição Direcção-Geral da Saúde, Cadernos da Direcção-Geral da Saúde, N.º1. ISSN 1645-4146 EPA (2013). United States Environmental Protection Agency, Consumer's Guide to Radon Reduction, How to fix your home. URL:<http://www.epa.gov/radon>, EPA 402/K-10/005 | March 2013.
- Diegues, P. & Martins, V. (2010). Águas termais riscos e benefícios para a saúde. Encontro Técnico – Água e Saúde, 19 de Maio de 2010, Caparica, Lisboa.
- EPA (2013). United States Environmental Protection Agency, Consumer's Guide to Radon Reduction, How to fix your home. URL:<http://www.epa.gov/radon>, EPA 402/K-10/005 | March 2013.
- Erdogan, M., Ozdemir, F. & Eren, N. (2013). Measurements of radon concentration levels in thermal waters in the region of Konya, Turkey. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 49(4): 567–574. doi:10.1080/10256016.2013.815182.
- IAEA (2003) Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines, jointly sponsored by the International Atomic Energy Agency and the International Labour Office. Safety Reports Series No. 33, IAEA, Vienna. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1168_web.pdf.
- ITN (2010). Radão – Um gás radioativo de origem natural. Instituto Tecnológico e Nuclear. Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear. www.itn.pt/docum/relat/radao/itn_gas_radao.pps.
- Ferreira, A.M.S. (2009). Radioactividade das Águas da Região Subterrâneas do Minho. Dissertação apresentada na Universidade do Minho, Escola de Ciências para obtenção do grau de Mestre em Ciências do Ambiente Ramo de especialização em Qualidade Ambiental.
- Gonçalves, C.V.M. & Pereira, A.J.S.C. (2007). Radionuclides in groundwater of the Serra do Buçaco region (Central Portugal). Proceedings of the XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists, Lisbon, 6p.
- IGM (1998). Recursos geométricos em Portugal Continental. Baixa entalpia. Direcção de Serviços de Gestão e Recursos Geológicos. Divisão de Recursos Hidrogeológicos e Geotérmicos. URL:<http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/076.pdf>.
- Koray, A., Akkaya, G., Kahraman, A. & Kaynak, G. (2014), Measurements of radon concentrations in waters and soil gas of Zonguldak, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 162(3): 375-381. doi:10.1093/rpd/nct308.
- Mittal, S., Rani, A. & Mehra, R. (2016). Estimation of radon concentration in soil and groundwater samples of Northern Rajasthan, India. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9, pp. 125-130.
- Mueller, A. (1998). Handbook of Radon in Buildings: Detection, Safety, & Control. SYSCON Corporation, Brookhaven National Laboratory. ISBN-13: 000-0891168230.
- Müllerová, M., Mazur, J., Blahušíak, P., Grzadziel, D., Holý, Kovács, T., Kozak, K., Csordás, A., Neznal, Martin, N., M. & Shahrokhi, A. (2016). Indoor radon activity concentration in thermal spas: the comparison of three types of passive radon detectors. *J. Radional Nucl Chem*, 310, 1077-1084. DOI 10.1007/s10967-016-4961-8.
- Nikolov, J., Todorovic, N., Pantic, T.P., Forkapic, S., Mrdja, D., Bikit, I., Krmar, M. & Veskovic, M. (2012). Exposure to radon in the radon spa Niška Banja, Serbia. *Radiation Measurements*, 47(6): 443-450. doi:10.1016/j.radmeas.2012.04.006.
- Nikolov, J., Todorović, N., Bikit, I., Pantić, T.P., Forkapić, S., Mrđa, D. & Bikit, K. (2014). Radon in thermal waters in south-east part of Serbia. *Radiation Protection Dosimetry*, 160(1-3): 239-243. doi:10.1093/rpd/ncu094.
- Pereira, A.J.S.C., Neves, L.J.P.F. & Pinto, P.G.N. (2008). Concentração do gás radão em estabelecimentos de Ensino da Região Centro – um risco natural a considerar na requalificação dos edifícios escolares. *Radioprotecção* 99(16-17): 99-105.
- Schmid, K., Kuwet, T. & Drexler, H. (2010). Radon in Indoor Spaces. An underestimated risk factor for lung cancer in environmental medicine. *Deutsches Ärzteblatt International*, 107(11): 181–186. doi:10.3238/arztebl.2010.0181.

- Silva, A.S., Dinis, M.L. & Diogo, M.T. (2013). Occupational Exposure to Radon in Thermal Spas, Book chapter in: Occupational Safety and Hygiene, Eds. P. Arezes, J. S. Baptista, M. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, N. Costa, R. Melo, A. S. Miguel, G. Perestrelo, pp.273-277. ISBN: 9781138000476, London: Taylor & Francis, 2013.
- Silva, A.S. & Dinis, M.L. (2015a). The presence of radon in thermal spas and their occupational implications – a review. Book chapter in: Occupational Safety and Hygiene III, Eds. P. Arezes, J. S. Baptista, M. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, N. Costa, R. Melo, A. S. Miguel, G. Perestrelo, pp.353-355, ISBN 978-1-138-02765-7, London: Taylor & Francis.
- Silva, A.S., Dinis, M.L. & Pereira, A.J.S.C. (2016). Assessment of indoor radon levels in Portuguese thermal spa, *Radioprotection* 51(4):249-254. DOI:10.1051/radiopro/2016077.
- Silva, A.S. & Dinis, M.L. (2016). Measurements of indoor radon and total gamma dose rate in Portuguese thermal spas. In: Occupational Safety and Hygiene IV (P. Arezes, J.S. Baptista, M. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, N. Costa, R. Melo, A.S. Miguel, G. Perestrelo, Eds.), pp. 485-489. Taylor & Francis, London.
- Tarim, U.A., Gurler, O., Akkaya, G., Kilic, N., Yalcin, S., Kaynak, G. & Gundogdu, O. (2012). Evaluation of radon concentration in well and tap waters in Bursa, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry* 150 (2): 207–212. doi:10.1093/rpd/ncr394.
- Teixeira, F. (2012). O Termalismo na região Centro. Águas Minerais naturais e de Nascente da Região Centro., cap. XIII, 263-300, Edição: Mare Liberum-Editora, para a FEDRAVE. ISBN 978-972-8046-17-0.
- UNSCEAR (2000) United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation, Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations, New York, United Sales publication E.00.IX.3.
- UNSCEAR (2006). Effects of Ionizing Radiation: UNSCEAR 2006 Report: Volume II.
- Vogiannis, E. and Nikolopoulos, D. (2015). Radon sources and associated risk in terms of exposure and dose. *Public Health* 207(2), pp. 1-10. doi: 10.3389/fpubh.2014.00207.
- Walczak, K., Olszewski, J. & Zmyslony M. (2016). Estimate of radon exposure in Geothermal spas in Poland. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 29(1): 161-166.
- WHO (2007). Radon and cancer. Fact Sheet Nr. 291. WHO, Geneve.
- WHO (2009). WHO handbook on Indoor Radon, A Public Health Perspective, ISBN 978 92 4 154767 3. URL: http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673_eng.pdf.