



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Análise do comportamento de materiais de revestimento como barreiras de Radão.

Marcelo Mineiro Lopes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(ciclo de estudos integrado)

Orientador: Prof. Doutor Pedro Gabriel de Faria Lapa Barbosa de Almeida
Coorientador: Prof. Doutor João Carlos Gonçalves Lanzinha

Covilhã, Outubro de 2015

Agradecimentos

A concretização deste trabalho não teria sido possível sem a colaboração, estímulo e empenho de diversas pessoas. Gostaria, de expressar toda a minha gratidão e apreço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esta tarefa se tornasse uma realidade.

Gostaria de agradecer ao orientador deste trabalho, o Professor Doutor Pedro Gabriel de Faria Lapa Barbosa de Almeida, pela sua amabilidade, disponibilidade, ajuda, compreensão e tolerância na direção deste trabalho.

Agradeço ao coorientador Professor Doutor João Carlos Gonçalves Lanzinha, pela sua ajuda, disponibilidade, amabilidade para elaboração deste trabalho.

A Professora Doutora Sandra da Costa Henriques Soares, agradeço a sua ajuda, disponibilidade e apoio dado ao longo deste trabalho, e por me disponibilizar o laboratório de Estudos dos Efeitos de Exposição ao Radão (LabExpoRad).

A Professora Margarida Isabel de Matos Inácio pela sua colaboração, amabilidade e empenho na ajuda da execução de determinadas tarefas a nível laboratorial.

Por último, quero agradecer às duas pessoas mais importantes, os meus pais, por me ajudarem em tudo e proporcionarem o curso de Engenharia Civil.

Resumo

Quimicamente o radão é um gás nobre e radioativo que não tem cor, cheiro ou sabor, só sendo detetado através de medições. É descendente dos metais radioativos Urânio e Tório, existentes na crosta terrestre e abundantes em rochas e solos das regiões onde predominam minérios radioativos e também muito comuns em terrenos graníticos, como no caso dos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

O Decreto-Lei nº 118/2013 regulamenta os sistemas energéticos de climatização em edifícios, relativos aos materiais de construção estabelece como valor máximo de radão para casas já construídas, 400 Bq/m³. Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento de materiais de revestimento como barreiras de radão.

A parte prática deste trabalho, consiste na medição da quantidade de radão travada por materiais de revestimento utilizados frequentemente na construção civil, tais como, tintas, ladrilhos, madeiras, carpetes e telas. Foram fabricados provetes em acrílico de modo a testar os materiais como barreiras e uns outros provetes para saber qual a produção de radão de cada material. No interior de cada provete foi colocado um detetor passivo CR39 sensível ao radão.

Dos revestimentos utilizados, o que reduz mais a concentração de radão foi o flutuante laminado acrílico. Este revestimento conseguiu reduzir em 65,3 % a concentração de radão. Dos provetes de teste chegou-se á conclusão que o acrílico neste caso de 1 cm de espessura reduz em 99,5 % a concentração de radão.

Palavras-chave

Radão, Decreto-Lei nº 118/2013, materiais de revestimento, detetor passivo.

Abstract

Chemically Radon is a radioactive noble gas that has no color, smell or taste, just being detected by measurements. It is descended from radioactive metals Uranium and Thorium, existing in the earth's crust and abundant in rocks and soils of the regions dominated radioactive ores and also very common in granitic terrain, such as in the case of districts Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu and Withe Castle.

Decree-Law No. 118/2013 regulates the HVAC energy systems in buildings, for the building materials sets a maximum value for radon houses already built, 400 Bq / m³. This work aims to analyze the coating material behavior as Radon barriers.

The practical part of this work consists in measuring the amount of radon locked coating materials commonly used in construction, such as paints, tiles, wood, carpet and membrane. Acrylic on specimens were manufactured in order to test the material as barriers and another samples to find out the radon production of each material. Within each specimen was placed a passive CR39 sensitive detector to radon.

Of the coatings used, which further reduces the concentration of radon acrylic laminate was floating. This coating could it reduce by 65.3% the concentration of radon. Of test samples came up to the conclusion that in this case the acrylic 1 cm thick reduces by 99.5% the concentration of radon.

Keywords

Radon, Decree-Law No. 118/2013, coating materials, passive detector.

Índice

Introdução.....	1
Capítulo 1 - Fundamentos da Física das Radiações.....	3
1.1 Radiação.....	3
1.1.1 Partículas alfa (α).....	3
1.1.2 Partículas beta (β).....	4
1.1.3 Partículas gama (γ).....	4
1.2 Fontes artificiais.....	5
1.3 Radiação natural.....	7
1.3.1 Radiação natural de origem terrestre: O radão nas séries de decaimento radioativo.....	8
1.3.2 Radiação natural de origem cósmica.....	10
1.3.3 Decaimento radioativo.....	12
1.4 Caracterização das Radiações.....	13
1.4.1 Radiação não ionizante.....	13
1.4.2 Radiação ionizante.....	14
1.5. Grandezas e unidades dosimétricas.....	15
1.5.1. Atividade.....	15
1.5.2. Fluência.....	15
1.5.3. Exposição.....	16
1.5.4. Dose absorvida.....	16
1.5.5. Dose equivalente.....	17
Capítulo 2. A Saúde e o Radão.....	19
2.1. Radão.....	19
2.1.1. Estimativa do risco associado ao radão.....	20
2.2. Radão.....	22
2.2.1. Concentração de radão em Portugal.....	24
2.2.2. Radão em ambiente interior.....	25
2.3. Medidas de mitigação do radão no interior dos edifícios.....	27
2.4. Libertação de radão nos diferentes tipos de materiais e revestimentos.....	30
Capítulo 3 - Trabalho Desenvolvido.....	35
3.1. Detetores.....	35
3.1.1. Detetor CR39.....	36

3.1.1.1. Processo de revelação e contagem.....	36
3.2. Formulação teórica de estatística.....	39
3.3. Parte pratica.....	40
3.4. Provetes de Ladrilhos.....	41
3.5. Provetes de madeira.....	43
3.6. Provetes de tinta.....	45
3.7. Provetes de revestimentos menos utilizados.....	46
3.8. Provetes de teste.....	48
3.9. Revestimentos utilizados nos provetes.....	50
3.9.1. Ladrilho porcelânico.....	50
3.9.2. Ladrilho Cerâmico.....	51
3.9.3. Soalho de pinho.....	51
3.9.4. Flutuante laminado acrílico.....	52
3.9.5. Tinta de água acrílica.....	53
3.9.6. Tinta plástica tipo membrane.....	53
3.9.7 Tela em PVC.....	54
3.9.8 Carpete modular.....	55
Capítulo 4 - Resultados das medições.....	57
4.1. CR39.....	57
Capítulo 5 - Conclusões.....	65
Bibliografia.....	71

Lista de Figuras

Figura 1: Experiência de Rutherford adaptado de (10).....	3
Figura 2: Teste nuclear na atmosfera, Área de testes do Nevada, 1953 adaptado de (11).....	6
Figura 3: Dose média anual de radiação recebida pelo homem adaptado de (12).....	7
Figura 4: Série radioativa natural do urânio adaptado de (8).....	8
Figura 5: Série radioativa natural do tório adaptado de (8).....	9
Figura 6: Carta geológica simplificada de Portugal Continental adaptado de (9).....	9
Figura 7: Interação de raios cósmicos com os gases existentes na atmosfera adaptado de(8).	10
Figura 8: Distribuição da dose anual de radiação cósmica em função da altitude adaptado de (5).....	11
Figura 9: Lei do decaimento radioativo exponencial adaptado de (3).....	12
Figura 10: Espectro eletromagnético, com valores de frequência e comprimento de onda adaptado de (15).....	13
Figura 11: Efeito causados pelas partículas alfa na molécula de ADN adaptado de (18).....	20
Figura 12: Avaliação, gestão do risco associado ao radão adaptado de (19).....	21
Figura 13: Imagem com os sucessivos decaimentos desde o Urânio até ao Chumbo adaptado de (1).....	22
Figura 14: Distribuição das concentrações médias de radão em Portugal adaptado de (9).....	24
Figura 15 - Concentração de radão em solos adaptado de (20).....	25
Figura 16: Transferência do gás radão para o interior de uma habitação adaptado de (21)....	26
Figura 17: Gráficos de variações das concentrações médias de radão habitacional adaptado de (3).....	27
Figura 18: Soluções da relação edifício/terreno para redução dos níveis de radão adaptado de (22).....	28
Figura 19: Esquema da drenagem de radão a instalar na parte inferior do piso térreo. Sistema de ventilação por tiragem natural ou com ajuda de um ventilador para criar a depressão necessária adaptado de (22).....	29
Figura 20: Imagem dos sistemas de ventilação passiva (interior) e ativa (exterior) adaptado de (1).....	30
Figura 21: Concentração de ^{222}Rn por etapa construtiva das células adaptado de (25).....	31
Figura 22: Conteúdo de ^{226}Ra para diversos materiais de construção adaptado de (1).....	32
Figura 23: Detetor CR39.....	36
Figura 24: Unidade NanoReader Bath.....	37
Figura 25: Unidade NanoReader e computador com software apropriado.....	38
Figura 26: Colagem das caixas de acrílico com silicone.....	40
Figura 27: Corte dos ladrilhos com auxílio da rebarbadora.....	41

Figura 28: Colagem dos ladrilhos com auxílio de silicone de modo a fazer três compartimentos idênticos.....	42
Figura 29: Provetes já com os respetivos ladrilhos no lugar, fonte geradora de radão no centro e os três detetores cr39, um em cada compartimento.....	42
Figura 30: corte do soalho e do flutuante com auxílio de uma serra elétrica.....	43
Figura 31: provetes individual já selado com a peça de soalho e detetor no seu interior.....	44
Figura 32: Detetor no interior de provetes com o suporte de rede revestido a tinta plástica..	45
Figura 33: Provetes com as respetivas amostras de carpete e membrana, fonte geradora de radão no centro e os três detetores cr39, um em cada compartimento.....	47
Figura 34: Provetes com o detetor cr39 no seu interior já selado.....	48
Figura 35: Provetes com o detetor cr39 no seu interior já selado dentro do saco hermético com a fonte geradora de radão no seu interior.....	49
Figura 36: Caixa de ladrilho grés fino porcelânico usado nos provetes.....	50
Figura 37: Caixa de ladrilho cerâmico em pasta branca usado nos provetes.....	51
Figura 38: Amostra de soalho de pinho retirada da tabua de soalho.....	51
Figura 39: Amostra de flutuante laminado sintético retirado da tabua de flutuante.....	52
Figura 40: designação da tinta de água acrílica.....	53
Figura 41: designação da tinta plástica.....	54
Figura 42: telas de PVC adaptado de (6).....	54
Figura 43: carpete utilizada nos provetes.....	55
Figura 44: Quantidade de radão gerada nos provetes de ladrilho [Bq/m ³].....	65
Figura 45: Quantidade de radão gerada nos provetes de madeira [Bq/m ³].....	66
Figura 46: Quantidade de radão gerada nos provetes de tinta [Bq/m ³].....	66
Figura 47: Quantidade de radão gerada nos provetes de tinta [Bq/m ³].....	67
Figura 48: Quantidade de radão gerada nos provetes de um só compartimento [Bq/m ³].....	68
Figura 49: Quantidade de radão gerada nos provetes de um só compartimento [Bq/m ³].....	68
Figura 50: Quantidade de radão gerada nos provetes de um só compartimento [Bq/m ³].....	69

Lista de Tabelas

Tabela 1: Radiação recebida pelo homem.....	17
Tabela 2: Dose equivalente recebida por ano através de fontes naturais e fontes artificiais..	17
Tabela 3 - Alguma propriedades do ²²² Rn adaptado de (16).....	23
Tabela 4: Concentração de Rádio em alguns materiais de construção adaptado de (16).....	32
Tabela 5: Características de vários tipos de materiais adaptado de (1).....	33
Tabela 6: Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de três compartimentos e de um compartimento de ladrilhos.....	43
Tabela 7: Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de três compartimentos e de um compartimento de madeira.....	44
Tabela 8: Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de três compartimentos e de um compartimento da tinta.....	46
Tabela 9: Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de três compartimentos e de um compartimento dos revestimentos menos usados.....	47
Tabela10: Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de um só compartimento dos revestimentos menos usados.....	49
Tabela 11: Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de três compartimentos designado por ladrilhos.....	57
Tabela 12: Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de três compartimentos designado por madeiras.....	58
Tabela 13: Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de três compartimentos designado por tintas.....	58
Tabela 14: Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de três compartimentos designado por revestimentos menos utilizados.....	59
Tabela 15: Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de um compartimento sem fonte geradora de radão.....	59
Tabela 16: Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de um compartimento sem fonte geradora de radão.....	61
Tabela 17: Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de teste.....	62
Tabela 18: Dados referentes à leitura do detetor colocado no exterior.....	63

Lista de Acrónimos

UBI	Universidade da Beira Interior
OMS	Organização Mundial de Saúde
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
CTN	Centro Tecnológico Nuclear
EPA	Environmental Protection Agency
EURATOM	European Atomic Energy Community

Introdução

Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento de materiais de revestimento como barreiras de Radão

O artigo 29.º do Decreto-Lei nº 118/2013 refere-se aos requisitos de qualidade do ar interior e estabelece como limite máximo de concentração de radão, em edifícios públicos, o valor de 400 Bq/m³, sendo a sua pesquisa obrigatória apenas em zonas graníticas, nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

Sendo o radão um gás natural radioativo, prejudicial à saúde, é necessário fazer medições de radiação alfa no interior dos edifícios, principalmente nos distritos referidos uma vez que é onde são mais abundantes os solos graníticos, ricos em urânio.

Em Portugal o radão é responsável por cerca de 50% da dose de radiação natural a que a população se encontra sujeita. Para minimizar a dose de radiação natural, a que cada indivíduo está sujeito, é importante cumprir medidas, principalmente no que respeita às habitações(17). O gás radão constituiu a segunda causa de cancro do pulmão no mundo, depois do tabaco. A Organização Mundial de Saúde (OMS) refere que os investigadores atribuem entre 10 e 15 por cento dos casos de cancro do pulmão (36).

A parte prática deste trabalho consiste na medição da quantidade de radão travada por materiais de revestimento utilizados frequentemente na construção civil, tais como, tintas, ladrilhos, madeiras, alcatifa e membrana. Foram fabricados provetes em acrílico de modo a testar os materiais como barreiras e uns outros provetes para saber qual a produção de radão de cada material. No interior de cada provete foi colocado um detetor passivo CR39 sensível ao radão.

Capítulo 1

Fundamentos da Física das Radiações

1.1 Radiação

Em 1896, Becquerel, descobriu, acidentalmente, a radioatividade natural, ao observar que os sais de urânio emitiam radiações que impressionavam uma chapa fotográfica envolvida em papel negro.

No início do século XX, Rutherford desenvolveu uma experiência para estudar este tipo de radiação. Estas radiações eram emitidas pelo material radioativo, contido no interior de um bloco de chumbo que, quando submetidas a um campo magnético, a sua trajetória era desviada.

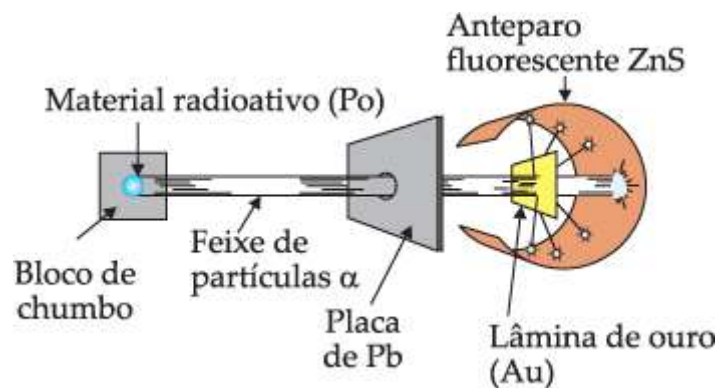


Figura 1: Experiência de Rutherford [10].

Rutherford verificou que determinadas substâncias que emitiam radiações, eram desviadas por campos elétricos e magnéticos, e outras que não eram desviadas. Este resultado permitiu-lhe concluir que uma parte do feixe era constituída por partículas carregadas, designadas por radiação α (alfa), β (beta), e outra parte por partículas neutras que não sofriam o efeito do campo magnético, a radiação γ (gama).

Quando um núcleo não é estável, transforma-se noutro mais estável por emissão de partículas ou de radiação eletromagnética. Este fenómeno chama-se radioatividade [3].

1.1.1 Partículas alfa (α)

As partículas alfa são núcleos de ${}^4\text{He}$, isto é, são constituídas por dois prótons e dois neutrões. Como se trata de partículas pesadas e pouco penetrantes, o seu alcance no ar é inferior a 10cm mas são altamente ionizantes. Um fator que contribui para o elevado poder de ionização é a

velocidade relativamente pequena das partículas alfa, o que determina um tempo de interação razoavelmente grande. São emitidas geralmente por núcleos de massa muito elevada para que o átomo se torne mais estável. Esta desintegração é frequente entre os elementos naturais mais pesados que se podem encontrar na natureza, como o caso do Urânio ou Rádio, mas passam por decaimentos sucessivos até encontrarem uma forma estável.

Quando as partículas alfa são provenientes de uma fonte externa ao organismo humano, praticamente não oferecem nenhum perigo. No entanto, se forem provenientes de uma fonte interna ao organismo (o material radioativo pode ter sido ingerido ou inalado ou ainda absorvido pela pele ou ferimentos), podem ser muito perigosas, uma vez que produzem mais ionizações ao longo de seu trajeto (danificando diretamente os tecidos).

As partículas alfa possuem um espectro de energia mono energética limitado entre 4 a 6 MeV, sendo facilmente blindadas (uma folha de papel é suficiente para as barrar). Grande parte das fontes de emissão alfa é formada pelo depósito de isótopos na superfície dos materiais [5].

1.1.2 Partículas beta (β)

As partículas beta são constituídas por elétrões, o que as torna mais leves e mais rápidas do que as alfa, penetrando assim mais profundamente na matéria. O seu poder de ionização é menor do que o das partículas alfa. O perigo oferecido pelas partículas beta, provenientes de uma fonte interna ou de uma fonte externa pode ser classificado como moderado. Os elétrões podem interagir com a matéria através de dois processos, ionização ou radiação de travagem. Como apresentam maior velocidade e menor carga do que as partículas alfa, a ionização é menor do que a produzida por estas e o poder de penetração maior. Sendo estas partículas relativamente leves, os elétrões sofrem colisões com os núcleos, perdendo alguma energia e fazendo com que as trajetórias ao longo da matéria sofram constantes alterações. O poder de penetração destas partículas depende da sua energia. A velocidade destas partículas é cerca de 9/10 da velocidade da luz.

Em muitas fontes de partículas beta, o núcleo formado continua excitado, fazendo com que este se desintegre imediatamente com a emissão de pelo menos um fóton de energia gama [5].

1.1.3 Partículas gama (γ)

Devido à ausência de carga e massa, a penetrabilidade dos raios gama é muito maior, pois são ondas eletromagnéticas de comprimento de onda (λ) muito pequeno. O alcance no ar é muito grande e são barradas por placas de chumbo de 3 cm de espessura. Os raios gama, provenientes de uma fonte externa, oferecem maior perigo do que os provenientes de uma fonte interna, isto porque toda a energia das radiações alfa e beta é absorvida pelo órgão. Devido ao seu grande poder de penetração, a maior parte da energia atravessa

e sai do corpo. A interação da radiação eletromagnética ionizante com a matéria produz-se basicamente por três processos: Efeito Fotoelétrico, Efeito de Compton e Produção de Pares [8], [9]. A grande maioria das fontes de energia gama, emitem este tipo de energia após produzirem uma desintegração de partículas beta. Isto acontece porque o núcleo continua num estado excitado após a libertação das partículas, sendo a energia em excesso libertada em forma de onda eletromagnética.

Os raios gama e X são radiações eletromagnéticas com propriedades idênticas distinguindo-se apenas pela sua origem, isto é, os raios gama são produzidos por emissão nuclear e os raios X são apenas energia eletromagnética. Estas radiações são muito mais penetrantes do que as partículas alfa e beta. Os raios X produzidos por fontes naturais são, em geral, menos penetrantes do que os raios gama. O corpo humano é facilmente atravessado por estes raios.

A blindagem para estas radiações faz-se com materiais densos como chumbo ou tipos especiais de cimento e o seu poder ionizante é fraco [5].

1.2 Fontes artificiais

O Homem, devido à necessidade foi obrigado a produzir alguns tipos de radiação, esta produção começou ainda com o Homem primitivo que ultrapassou o medo para conseguir produzir fogo. O fogo era uma fonte de radiação térmica e luminosa (infravermelha e luz visível) que lhe proporcionou a sobrevivência e o seu desenvolvimento. Na indústria essas fontes de radiação sofreram grandes alterações, pois foram bastante desenvolvidas. A radiação infravermelha sofreu uma grande evolução, atualmente é muito utilizada pelo Homem, nos lares, permite, entre outras aplicações, por exemplo, a secagem de objetos, preparação de alimentos, aquecimento do meio envolvente. O estudo da radioatividade artificial, possibilitou um maior conhecimento das partículas subatómicas e núcleos atômicos, possibilitando assim, que se transformarem elementos em elementos diferentes. A principal fonte de emissão de radionuclídeos artificiais para o ambiente, deu-se nos anos 50, através dos testes nucleares.



Figura 2: Teste nuclear na atmosfera, Área de testes do Nevada, 1953 [11].

O primeiro teste nuclear na atmosfera, ocorreu no ano de 1945, seguido de vários testes nucleares, exemplo da figura 2, tendo ocorrido em maior intensidade nos anos 50 (1952-1954, 1957-1958 e 1961-1962). Em 1963, após a assinatura do Tratado de Abolição dos Testes Nucleares, ocorreu uma queda significativa na sua realização. Este tratado, impedia a realização de testes subaquáticos e na atmosfera. Sendo assim, aumentou a realização de testes no subsolo, que não foram contemplados no Tratado.

Em 1996, foi assinado o Tratado de Proibição Total de Ensaio Nucleares, que vigora atualmente, estima-se que o número de testes nucleares realizados seja cerca de dois mil e quinhentos [2].

As maiores fontes de emissões artificiais são os exames médicos que recorrem a raios X, correspondendo a cerca de 18% da dose média anual recebida pelo homem. Outra fonte de radiação artificial são as centrais nucleares, mas a dose de radiação fornecida por estas fontes é muito reduzida correspondendo a apenas 0,03% da dose média anual [18]. Apesar desse baixo valor, estas instalações podem ser muito perigosas já que no seu núcleo possuem níveis de radiação extremamente elevados. No caso de ocorrer um acidente devido à explosão de um reator, os elementos radioativos podem espalhar-se por grandes distâncias, fazendo com que determinadas zonas se tornem impróprias para a fixação de população.

Dos casos mais graves de contaminação devido a explosões em centrais nucleares, encontram-se o acidente de Chernobyl em 1986 e mais recentemente em Fukushima em 2011.

Na figura 3 apresentam-se as fontes de radiação a que o Homem está exposto, com a respetiva percentagem de dose média anual recebida [5].

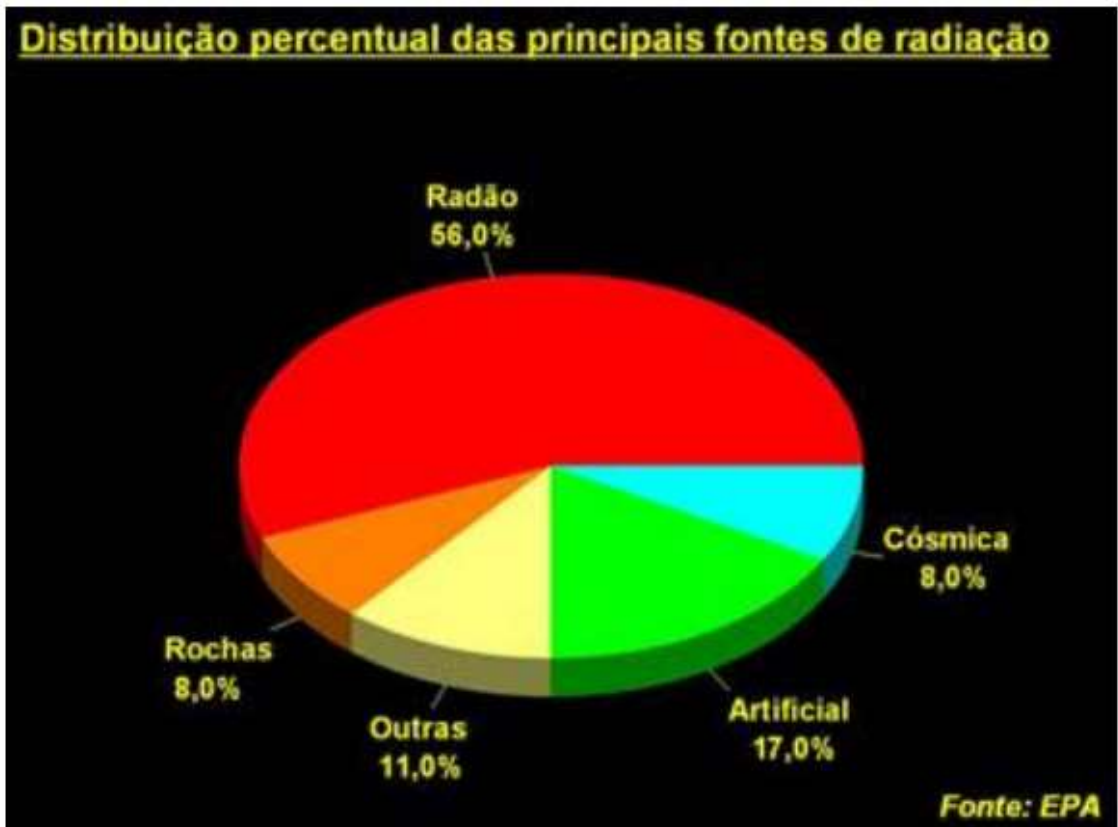


Figura 3: Dose média anual de radiação recebida pelo homem [12].

Pela análise da figura 4, pode concluir-se que o gás radão consiste na maior fonte radioativa a que está exposto o homem todos os dias, sendo responsável por mais de 50% da exposição média anual [12].

1.3 Radiação natural

Os seres humanos têm sido expostos à radiação natural ao longo de toda a sua existência e evolução. Essa exposição à radiação, emitida por fontes naturais, é inevitável e representa um fator permanente da vida quotidiana.

A radioatividade natural na atmosfera resulta fundamentalmente de dois processos: da transformação atômica que ocorre nos núcleos da matéria do Universo e que nos chega através dos raios cósmicos provenientes do espaço exterior e também do decaimento dos radionuclídeos existentes nas rochas da crosta terrestre como o urânio (^{238}U), o tório (^{234}Th) e o potássio (^{40}K), que se vão transformando e dão origem a isótopos radioativos com a emissão de partículas (α) (alfa), (β) (beta) e (γ) (gama) e que no conjunto representa cerca de 85% da dose média anual de radiação a que todos estamos expostos.

A exposição a estas radiações varia muito de local para local, dependendo principalmente da natureza do solo, da altitude e da latitude. Também para um mesmo local se verificam variações ao longo do tempo, em geral com um carácter sazonal ligado ao clima e devido, por exemplo, à interferência de fenómenos meteorológicos e hidrológicos na remoção, transporte e deposição de poeiras [7].

1.3.1 Radiação natural de origem terrestre: O radão nas séries de decaimento radioativo

Os solos contêm minerais naturalmente radioativos. Alguns dos radionuclídeos presentes nas rochas podem contribuir significativamente para a radioatividade atmosférica, devido à formação de gases que podem ser exalados pela superfície terrestre. Estes gases, ^{222}Rn e o seu isótopo ^{220}Rn , são descendentes radioativos diretos do ^{226}Ra e do ^{224}Ra , respetivamente, que pertencem às séries radioativas do urânio (Figura 4) e do tório (Figura 5). O ^{222}Rn , gás inerte com um período de semidesintegração de cerca de 3,8 dias, tem uma probabilidade razoavelmente elevada de se difundir através dos solos e atingir a atmosfera antes de se desintegrar nos seus descendentes sólidos (polónio, bismuto e chumbo). Pelo contrário, o ^{220}Rn , por ter um período de semi-desintegração de 55 segundos, apresenta uma menor probabilidade de se difundir para a atmosfera antes de se desintegrar [3].

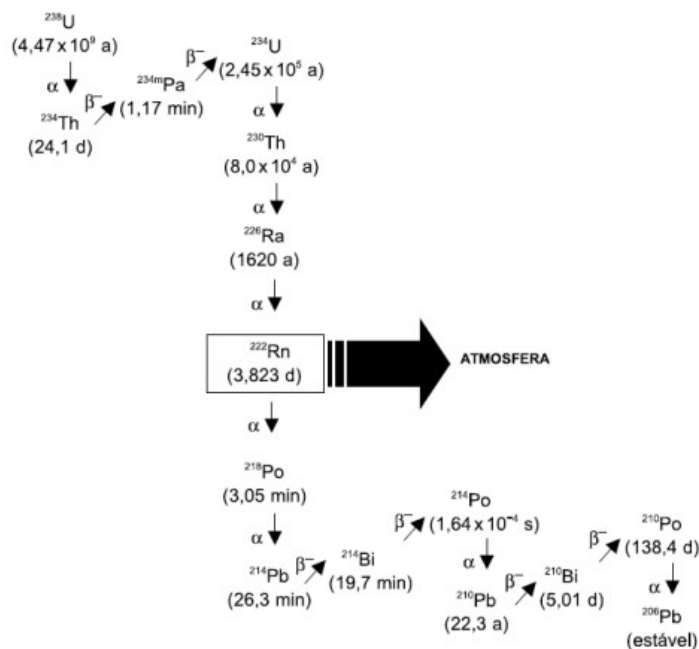


Figura 4: Série radioativa natural do urânio [8].

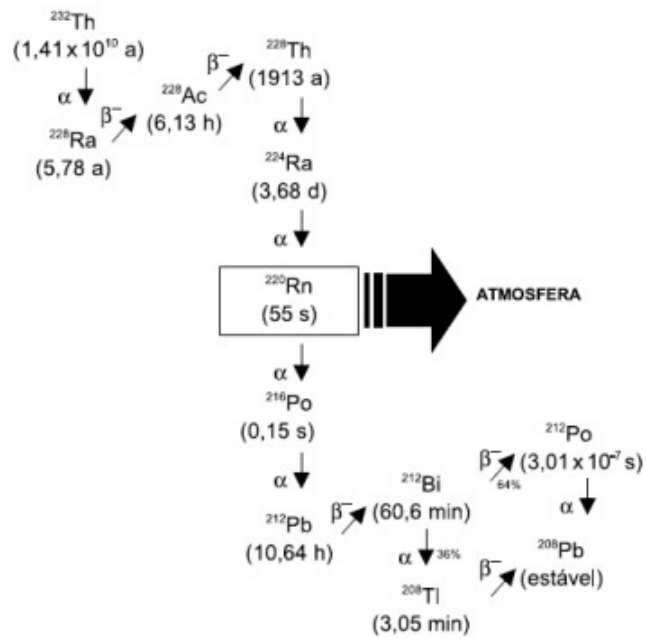


Figura 5: Série radioativa natural do tório [8].

Nos solos e rochas, a distribuição do urânio e rádio não é uniforme. As concentrações mais elevadas ocorrem, usualmente, em rochas graníticas (plutónicas) sendo mais baixas em rochas sedimentares como os calcários.

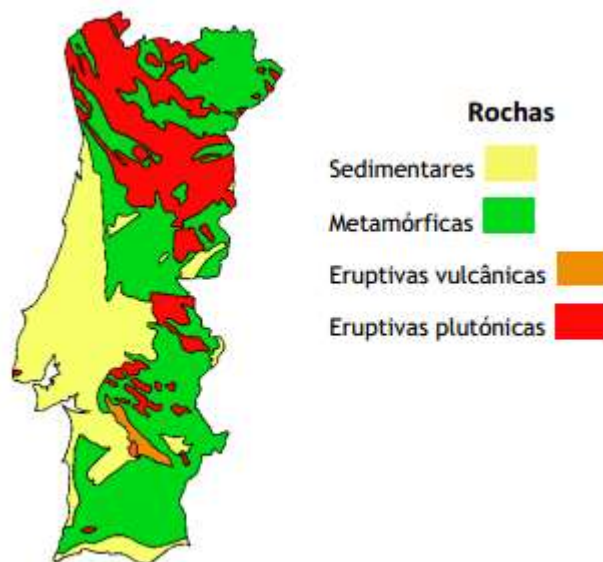


Figura 6: Carta geológica simplificada de Portugal Continental [9].

A libertação de radão para a atmosfera (exalação) está ainda condicionada pela permeabilidade e porosidade dos solos e rochas. Parâmetros meteorológicos, como a pressão

atmosférica, humidade e temperatura, também influenciam a exalação do radão. Por estas razões, a sua concentração na atmosfera não é constante, variando de uma região para outra e ao longo do tempo [3].

1.3.2 Radiação natural de origem cósmica

A formação de novos elementos e de isótopos radioativos, obtém-se a partir da colisão dos raios cósmicos com os átomos existentes na atmosfera, desta colisão resulta uma “cascata” de neutrões e prótons (figura 7) que interagem com núcleos leves de carbono, azoto e oxigénio.

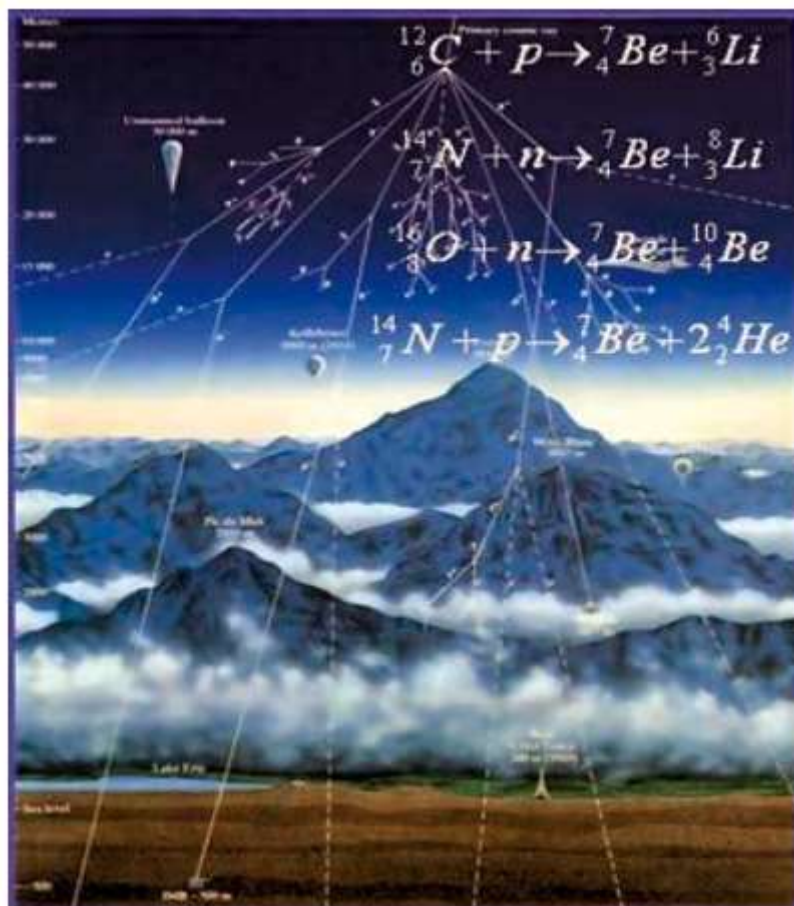


Figura 7: Interação de raios cósmicos com os gases existentes na atmosfera [8].

Desde a década de sessenta, que inúmeros radionuclídeos têm sido examinados, no entanto os mais significativos do ponto de vista de dose para a população, são o ${}^3\text{H}$, o ${}^7\text{Be}$, o ${}^{14}\text{C}$ e o ${}^{22}\text{Na}$. Os radionuclídeos apresentam comportamentos geoquímicos diferentes, mesmo tendo sido originados de forma semelhante. Cerca de 90% do ${}^3\text{H}$ produzido na atmosfera é convertido em H_2O , que entra diretamente no ciclo da água. O ${}^{14}\text{C}$, depois de se formar é oxidado

para formar o CO₂, por sua vez ²²Na e o ⁷Be juntam-se às partículas de aerossol disponíveis na atmosfera, passando a controlar os processos atmosféricos [2].

A radiação cósmica primária é constituída por partículas com energias extremamente altas (cerca de 10²⁰eV), são elas prótons (87%), partículas alfa (11%), núcleos com número atômico entre 4 e 26 (1%) e elétrons com energia muito elevada (1%). Apesar de grande percentagem da radiação vir do exterior do nosso sistema solar, alguma é produzida durante erupções solares. A radiação cósmica primária predomina na estratosfera a uma altitude acima dos 25km [14].

A dose anual de radiação cósmica a que estamos sujeitos depende da altitude e da latitude a que nos encontramos. Os raios cósmicos ao atravessarem a atmosfera chocam com ela e perdem energia. Deste modo, quanto maior for a altitude maior é a quantidade de radiação a que estamos sujeitos uma vez que a camada de ar que atua como proteção é menos espessa. Por exemplo, viajar de avião contribui para o aumento da dose de radiação que uma pessoa recebe. A radiação cósmica decresce à medida que nos deslocamos do Pólo para o equador devido ao efeito do campo geomagnético da Terra e do Sol sobre os raios cósmicos primários [5]. Na figura 8 pode observar-se a distribuição da dose anual de radiação cósmica em função da altitude.

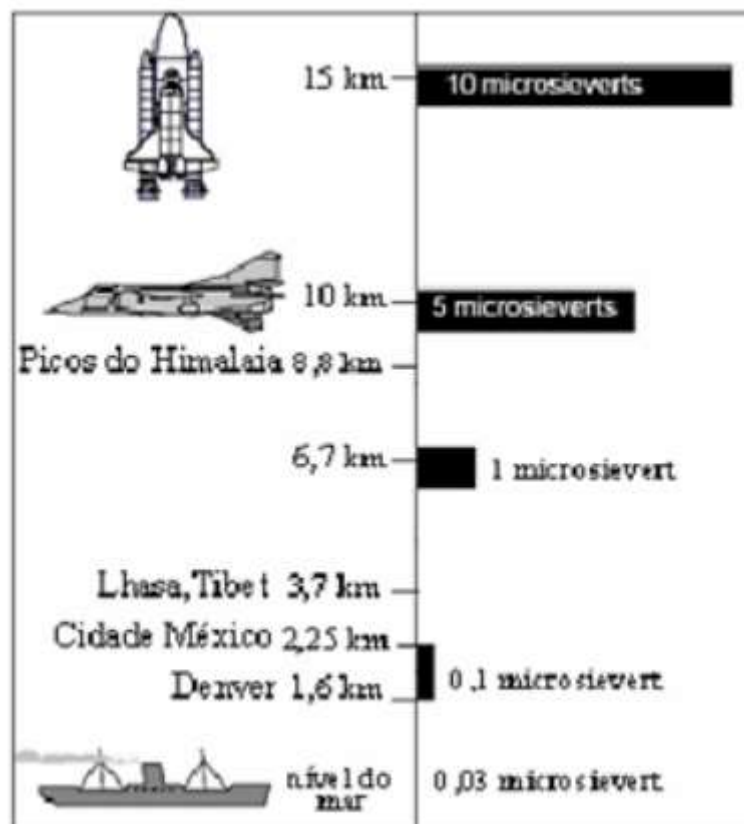


Figura 8: Distribuição da dose anual de radiação cósmica em função da altitude [5].

1.3.3 Decaimento radioativo

Os núcleos atômicos têm tendência a atingir a estabilidade. Se um isótopo estiver numa configuração instável ele emitirá radiação para atingir um estado estável.

Um átomo pode libertar energia e estabilizar através de emissão de partículas pelo núcleo ou emissão de fótons de alta frequência. O processo pelo qual um átomo liberta, espontaneamente, energia do seu núcleo é chamado decaimento radioativo. As emissões de radiação são feitas de modo imprevisível e não é possível saber qual o momento em que um núcleo irá emitir radiação [13].

Então, quando um núcleo não é estável, transforma-se noutro mais estável por emissão de radiação eletromagnética. A ocorrência de um processo de decaimento de um núcleo é perfeitamente aleatória, isto é, trata-se de um processo estatístico, ou seja, para um átomo individualmente não é possível determinar quando ele decairá, apenas é possível determinar a probabilidade dele decair.

O número de núcleos de uma amostra radioativa diminui exponencialmente com o tempo, sendo a função que representa a lei do decaimento radioativo dada por,

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

onde N representa o número de núcleos radioativos presentes na amostra, N_0 o número de núcleos radioativos iniciais e λ a constante de decaimento, característica de cada substância.

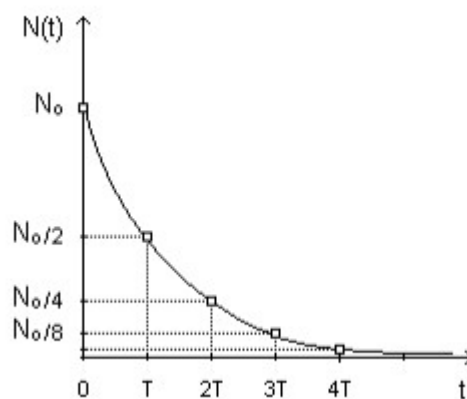


Figura 9: Lei do decaimento radioativo exponencial [3].

A constante de decaimento está relacionada com o tempo de meia-vida, $t_{1/2}$ (tempo

que decorre até que o número de núcleos radioativos se reduza a metade do valor inicial) através da relação,

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad (2)$$

substituindo (2) em (1) obtém-se:

$$N = N_0 2^{-t/t_{1/2}} \quad (3)$$

Esta lei, que rege o decaimento radioativo, mostra que o tempo necessário para um dado número de átomos radioativos se reduzir a metade, é uma constante que não depende do número inicial de átomos. Sabemos se a vida do elemento é curta ou longa através da constante de desintegração radioativa que, com já foi dito, é uma característica de cada elemento radioativo [3].

1.4 Caracterização das Radiações

Consoante o resultado da interação com a matéria a radiação pode ser ionizante ou não ionizante. A radiação não ionizante não tem poder para ionizar isto significa que não possui energia suficiente para ionizar átomos ou moléculas com os quais interatuam, a radiação ionizante possui energia suficiente para ionizar átomos ou moléculas [2].

1.4.1 Radiação não ionizante

Este tipo de radiação, apresenta valores de energia abaixo de 10 eV e comprimentos de onda acima de 200 nm (figura 10), inicia-se na zona da luz visível, passa pela zona do infravermelho, terminando na zona de frequências muito baixas, como por exemplo a da rede elétrica.

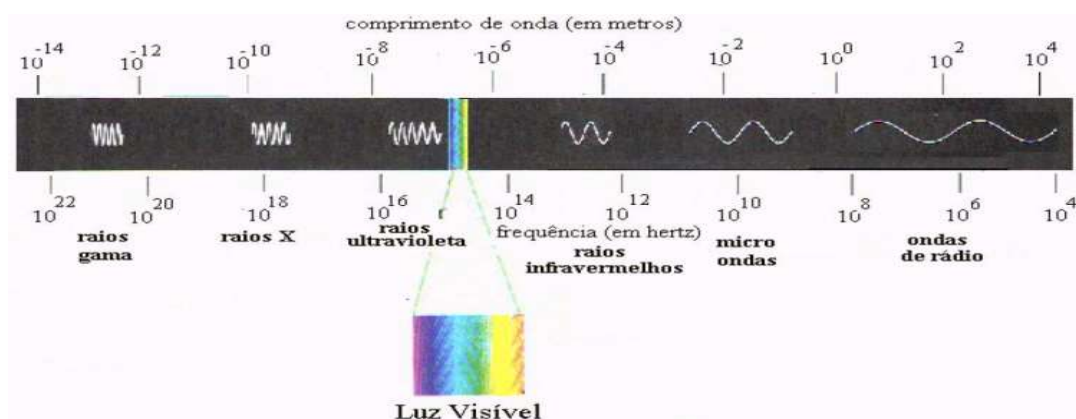


Figura 10: Espectro eletromagnético, com valores de frequência e comprimento de onda [15].

Este tipo de radiação apresenta como principais efeitos biológicos, o efeito térmico e o efeito não-térmico. O efeito térmico, consiste num aumento da temperatura dos tecidos biológicos, devido à absorção da energia eletromagnética. Para comprimentos de ondas maiores, as radiações não são apenas absorvidas pela pele, mas também, de acordo com os valores de frequência, são absorvidas por tecidos das camadas mais profundas.

Os efeitos não-térmicos como são provocados por campos eletromagnéticos induzidos, não provocam aumento da temperatura dos tecidos biológicos. Contudo, alguns podem produzir alterações no sistema nervoso, cardiovascular e imunológico, metabolismo e fatores hereditários [2].

Radiação visível é detetável pelo olho humano, designada muitas vezes apenas por luz. Os comprimentos de onda desta radiação estão compreendidos entre os 700 nm e os 400 nm. A radiação ultravioleta é parte da luz do Sol que chega à superfície terrestre. Possui energia suficiente para ionizar os átomos do topo da atmosfera. A região do ultravioleta encontra-se entre os 400 nm a 1 nm e é emitida quando num átomo o eletrão executa uma transição a partir de um estado fortemente excitado. São radiações com grande catividade química.

Radiação infravermelha tem um comportamento de onda entre os 1 mm a 700 nm. Ligeiramente mais longa que a luz visível. Possui aplicações práticas como por exemplo o aquecimento de ambientes, cozinhar alimentos e para fins terapêuticos.

A radiação micro-ondas é de origem cósmica e preenche todo o universo. Encontra-se desde os 10^{-1} m até cerca dos 10^{-3} m. São capazes de penetrar na atmosfera terrestre e variam entre 1 cm e 30m. Estas radiações têm interesse para a comunicação com veículos espaciais, bem como para rádio e astronomia. No caso dos fornos de micro-ondas, a energia destas ondas aumenta a agitação das moléculas de água que existem nos alimentos, permitindo o seu aquecimento.

Ondas de rádio estão numa região onde varia desde de alguns metros ate cerca de 10^3 m. São produzidas em circuitos eletrónicos, sendo utilizadas para emissões de rádio e televisão e radares [16].

1.4.2 Radiação ionizante

Este tipo de radiação, é caracterizada por possuir energia suficiente para arrancar pelo menos um eletrão de um nível de energia para outro, fazendo com que o átomo deixe de ser neutro e passe a ter carga positiva, pois o número de prótons no átomo torna-se maior do que o número de eletrões, ou seja o átomo transforma-se em um ião positivo.

Este tipo de radiação, apresenta valores de energia acima de 10 eV e comprimentos de onda abaixo de 200 nm. As zonas do espectro onde se encontra este tipo de radiação, correspondem à zona dos raios X, raios gama e ainda ultravioleta.

1.5. Grandezas e unidades dosimétricas

O sistema de unidades dosimétricas é baseado nas resoluções da ICRU (*International Commission on Radiation Units and Measurements*), fundada em 1925, que usa o sistema internacional e cuida sobretudo das grandezas básicas e das operacionais.

Existem várias grandezas associadas à radiação. Para a realização deste trabalho importa mencionar a atividade, a fluência, a exposição, a dose absorvida e a dose equivalente [1].

1.5.1. Atividade

A atividade é uma grandeza radiológica e corresponde ao número de transformações nucleares por unidade de tempo. É determinada a partir da equação 4.

$$A = \frac{dN}{Dt} \quad (4)$$

As unidades da atividade no sistema internacional são o s^{-1} ou Becquerel (Bq). Antigamente esta grandeza era medida em Curie (Ci). Onde N representa o número de núcleos presentes numa amostra [1].

1.5.2. Fluência

Os feixes de fótons produzidos em aceleradores lineares são caracterizados por uma distribuição de energia, $f(E)$, fluências, Φ , e fluências energéticas, ψ .

A fluência, Φ , de um feixe de partículas, é definida pelo número de partículas, N , por unidade de área perpendicular ao feixe, A :

$$\Phi = \frac{dn}{dA} \quad (5)$$

A unidade da fluência, no sistema internacional, é cm^{-2} .

Se o feixe for monocromático, a fluência energética, ψ , é simplesmente o produto da fluência, Φ , pela energia de cada partícula, E . A fluência energética é expressa em $MeVcm^{-2}$.

$$\psi = \frac{dE}{dA} \quad (6)$$

Embora estas quantidades sejam relevantes para o estudo das radiações e dos seus efeitos no corpo humano, são difíceis de medir diretamente. Por isso se definem outras grandezas: a exposição; a dose absorvida; e o equivalente de dose absorvida [1].

1.5.3. Exposição

A exposição representa o quociente entre a carga, dQ , devido à ionização criada pelos eletrões secundários (eletrões e positrões), formados no interior de um elemento com uma massa dm , por raios X ou gama, quando todos os eletrões secundários são produzidos no ar.

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (7)$$

A exposição é definida apenas para fontes de radiação X ou gama. A unidade de medida de exposição no sistema internacional é C/kg, mas a unidade tradicional é o Röentgen (R), sendo que 1 R equivale a $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg.

A taxa de exposição é definida como a variação da exposição com o tempo, medida usualmente em Röentgen por hora (R/h). A unidade Röentgen aplica-se apenas a radiações X e gama, no ar, até 3 MeV [1].

1.5.4. Dose absorvida

Como os efeitos biológicos e químicos da exposição dos tecidos à radiação dependem da energia absorvida dependem da energia absorvida por esses tecidos e não da energia absorvida pelo ar, a dose absorvida D refere-se à quantidade de energia média, dE , depositada pela radiação por unidade de massa, dm , é definida através da equação 8.

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (8)$$

A dose absorvida é medida em Joules por quilograma (J/kg) ou em gray (Gy).

A tabela 1 apresenta os valores de radiação média recebida pelo homem num ano [1].

Tabela 1: Radiação recebida pelo homem.

Fonte	Dose média
Radiação cósmica	0,02 a 0,04
Corpo humano. A maior parte é proveniente do ²²⁶ Ra (ossos) e ⁴⁰ K (glândulas sexuais)	0,06
Isótopos radioativos situados no solo, nas rochas, nos materiais de construção e na atmosfera	0,03 a 0,30
Testes nucleares (estimativa do total acumulado de radiação)	0,25

1.5.5. Dose equivalente

A dose equivalente, H, é a energia que é transportada pela radiação e é absorvida pelo tecido biológico. Esta grandeza tem maior significado biológico do que a dose absorvida, uma vez que permite relacionar os vários efeitos biológicos de vários tipos de radiação.

A unidade de dose equivalente no sistema internacional é o Sievert (Sv). A dose equivalente resulta do produto entre a dose absorvida (D) e o fator de qualidade (Q).

$$H = D \times Q \quad (9)$$

O fator de qualidade varia dependendo do tipo de radiação. Para eletrões, raios X e gama o fator de qualidade é igual a 1, para prótons toma o valor 5, no caso dos neutrões pode variar entre 5 e 20, nas partículas alfa atinge o valor 20.

Na tabela 2 está indicada a dose equivalente, recebida por ano através de fontes naturais e fontes artificiais [1].

Tabela 2: Dose equivalente recebida por ano através de fontes naturais e fontes artificiais.

	Fonte	mSv/ano	%
Exposição natural	Terra	0,45	28%
	Raios cósmicos	0,30	
	Seres vivos	0,25	
	Radão e produtos de desintegração	1,00	28%
Exposição artificial	Medicina	1,50	42%
	Ensaio nucleares	0,02	2%
	Investigação	<0,02	
	Instalações nucleares	<0,01	
	Indústria	<0,01	

Capítulo 2. A Saúde e o radão

2.1 As partículas mediadoras de lesões provocadas pelo radão

Na atmosfera, a concentração devida ao radão é baixa (da ordem dos 10 Bq/m³), mas em espaços fechados, como o interior de uma habitação, pode existir em concentrações elevadas, devido a vários fatores, tais como, hábitos dos habitantes, parâmetros climáticos e constituição geológica do local.

Em Portugal o radão é responsável (cerca de 50%) da dose de radiação natural a que a população se encontra sujeita. Para minimizar a dose de radiação natural, a que cada indivíduo está sujeito, é importante cumprir medidas, principalmente no que respeita às habitações. Os efeitos do radão na saúde foram fundamentados em estudos epidemiológicos realizados em populações mineiras. A realização de testes experimentais em 1986, envolvendo animais, revelou um aumento de um tipo particular de tumores pulmonares, mais periféricos.

Com o aumento do risco de incidência de cancro do pulmão, a exposição prolongada a elevadas concentrações de radão, e dos seus descendentes radioativos (²¹⁸Po, ²¹⁴Pb e ²¹⁴Bi, ²¹⁴Po) tem sido correlacionada, por diversos autores, com o aumento do risco de incidência de cancro do pulmão. Em estudos histológicos, efetuados em trabalhadores de minas de urânio, observou-se que os tumores pulmonares aparecem, com maior frequência, a nível dos brônquios segmentares [17].

A OMS concluiu em setembro de 2009 que o radão é a segunda causa de cancro de pulmão, a seguir ao fumo do tabaco, e contribui para 6 a 13% dos casos de cancro do pulmão. A junção entre estes dois agentes aumenta, o risco de desenvolver a doença. Os dados epidemiológicos referentes aos sobreviventes dos acidentes nucleares, ex-mineiros de minas de urânio e também habitações, possibilitaram o estabelecimento de uma relação entre a exposição a radiação ionizante e a indução de vários tipos de tumores, particularmente, tumores gastrointestinais, essencialmente estômago, fígado e pâncreas, tumores hematológicos, tumores na pele exposta ao ar e tumores extratorácicos.

As classificações da OMS, apenas apontem o radão e os seus descendentes, ²¹⁴Po e o ²¹⁸Po, como agentes indutores de tumores em seres humanos, as partículas alfa, resultante do decaimento do radão, são classificadas como, mediadoras das lesões provocadas pelo radão. Devido à alta Transferência Linear de Energia das partículas alfa, que resultam da desintegração dos descendentes de radão, o seu percurso é considerado letal, uma vez que conduzem a elevadas deposições locais de dose de radiação. Os efeitos causados pelas partículas alfa, envolvem danos em moléculas biológicas nucleares, como por exemplo, a molécula de ADN. Quando as partículas alfa atravessam um núcleo de uma célula esférica, provocam alguns danos na molécula de ADN e a sua recuperação através de proteínas, incluindo ku70, ku86, p450-quinase e ADN-ligase IV [2].

Na molécula de ADN é possível identificar as lesões provocadas pelas partículas alfa (figura 11), através da presença de espécies reativas de oxigénio, consideradas medidas do efeito maléfico das partículas alfa. As espécies reativas de oxigénio, radicais livres, são produzidas no citoplasma da célula e subsequentemente atingem o núcleo. A célula atingida pelas partículas alfa, envia a informação para as células vizinhas, levando à propagação dos efeitos que traduzem um tumor.

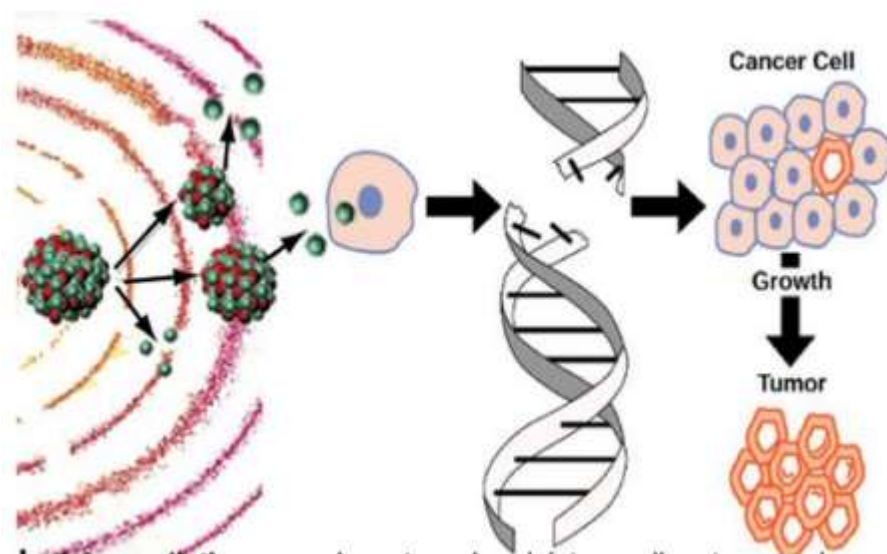


Figura 11: Efeito causados pelas partículas alfa na molécula de ADN [18].

A toxicidade do radão está relacionada com os efeitos químicos e biológicos das partículas alfa libertadas no decaimento do radão e seus descendentes, no ar existentes nos tecidos pulmonares.

Alguns estudos, indicam que cerca de 70% do radão inalado com o ar pode provocar carcinomas na região brônquica enquanto que apenas 30% dos tumores têm origem bronquioalveolares.

2.1.1 Estimativa do risco associado ao radão

Relativamente à perceção do risco, há a considerar um grande número de fatores na decisão de um indivíduo aceitá-lo um risco ou rejeitá-lo (figura 12). As pessoas normalmente classificam os riscos como negligenciáveis, aceitáveis, toleráveis ou inaceitáveis e comparam-nos com os benefícios.

Estas valorizações dependem, de vários fatores, como por exemplo, da idade dos indivíduos, do sexo, da cultura e dos antecedentes educacionais. O facto de a exposição ser ou não involuntária também influencia a perceção do risco, bem como a falta de controlo individual da situação [19].

Há ainda a considerar se os possíveis efeitos para a saúde potencialmente associadas à exposição em causa são ou não nocivos. Assim, algumas patologias (nomeadamente o cancro)

são mais receadas pela população do que outras. Deste modo, mesmo a mais pequena possibilidade de aparecimento de cancro, especialmente em crianças.

Para compreender o processo da perceção do risco por parte das populações é importante distinguir entre perigo para a saúde (health hazard) e risco para a saúde (health risk).

De acordo com esta distinção pode definir-se:

- **Perigo** como um conjunto de circunstâncias que podem potencialmente prejudicar a saúde das pessoas.
- **Risco** como a probabilidade estatística de ocorrência de um determinado acontecimento, habitualmente indesejável [19].

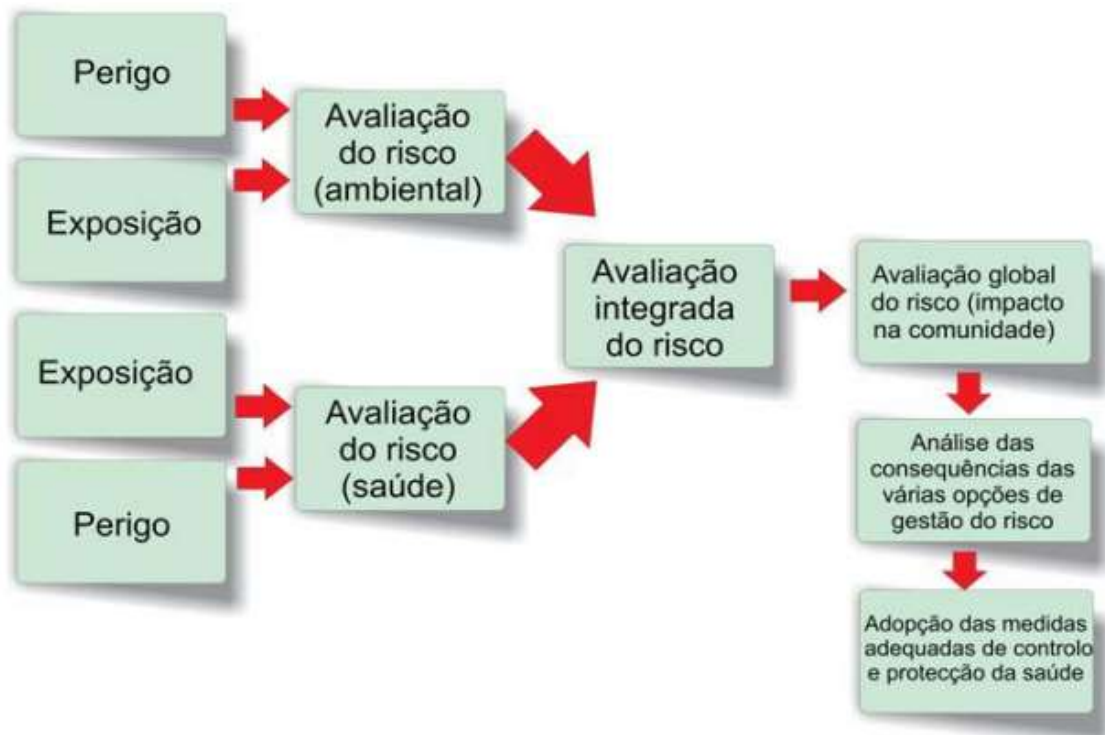


Figura 12: Avaliação, gestão do risco associado ao radão [19].

O risco associado ao desenvolvimento de tumores pulmonares radioinduzidos tem sido ao longo dos anos objeto de estudo, desenvolvidos no âmbito epidemiológico e dosimétrico.

A análise dosimétrica, refere que o radão não é motivo para preocupação pois, o radão na sua maioria é inalado durante a inspiração e eliminado na expiração. A problemática está nos descendentes diretos do radão, especialmente o ^{218}Po e o ^{214}Po e nas partículas alfa, que são libertadas nos vários decaimentos e são responsáveis pela deposição de energias nas células dos vários epitélios do aparelho respiratório. Como indicadores de risco no

desenvolvimento de tumores radioinduzidos, utilizam-se os padrões de deposição de energia pelas partículas alfa [2].

2.2. Radão

O radão (^{222}Rn) é um gás radioativo presente nas rochas, nos solos, no ar e na água. Surge por decaimento do urânio (^{238}U), presente em quantidades variáveis nas rochas. Este gás é inodoro e incolor, o que aumenta o risco a ele associado pois, misturado com o ar ambiente, é impercetível aos nossos sentidos. Sendo ligeiramente mais denso do que o ar tem tendência a acumular-se nos pisos em contacto com o solo [1].

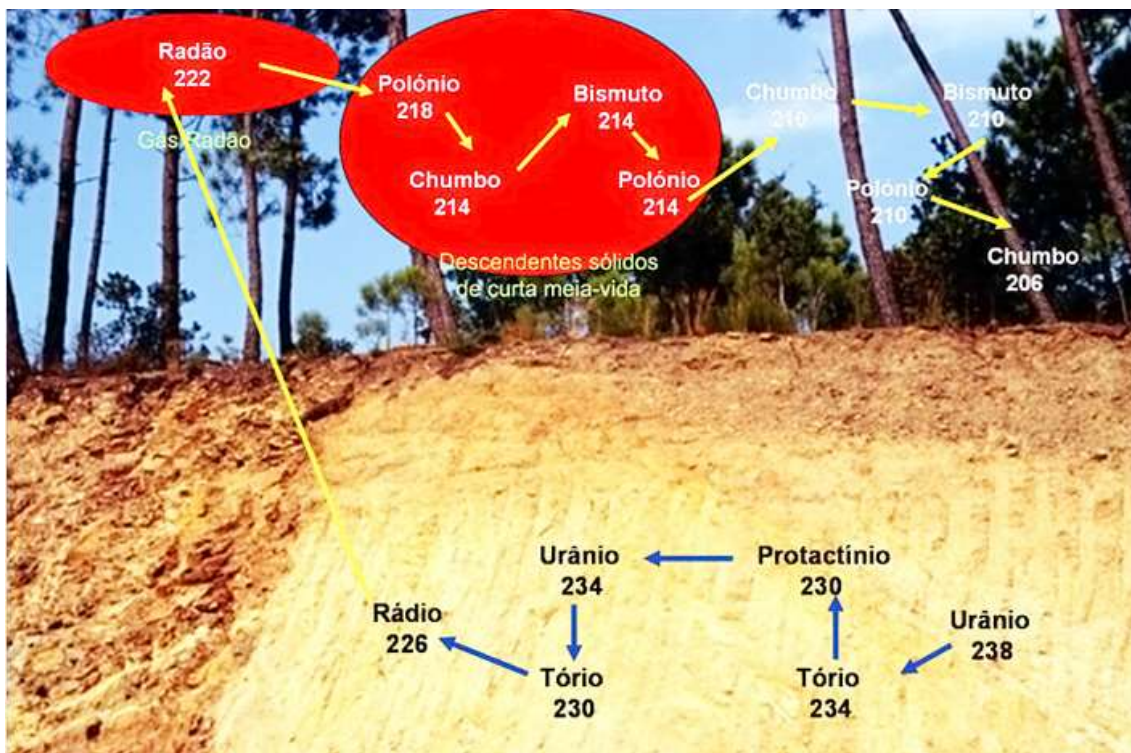


Figura 13: Imagem com os sucessivos decaimentos desde o Urânio até ao Chumbo [1].

Este gás está presente com mais abundância nas rochas graníticas em relação às rochas sedimentares. O seu ponto de fusão é $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o ponto de ebulição é de $62\text{ }^{\circ}\text{C}$. Algumas das suas propriedades físicas estão expostas na tabela 3 [16].

Tabela 3 - Alguma propriedades do ^{222}Rn [16].

Propriedades	Valores
Ponto de ebulição (°C)	-61,8
Ponto de fusão (°C)	-71,8
Temperatura crítica (°C)	104
Pressão crítica (Atmosferas)	62
Densidade a temperatura e pressões normais (Kg/m ³)	9,96

O radão (²²²Rn), o torão (²²⁰Rn) e o actinão (²¹⁹Rn), são três isótopos que surgem, de forma natural, a partir das séries de decaimento do urânio e do tório. O actinão tem uma limitada capacidade de mitigação, uma vez que a desintegração dos seus átomos demora apenas 4 segundos. A abundância do urânio (²³⁵U) em relação ao urânio natural (somente 0,711%), faz com que a presença do actinão seja desprezável. O isótopo torão tem uma semivida com cerca de 56 segundos, que é muito inferior à do radão, cerca de 3,8 dias. No entanto, como o tório (²³²Th) existe em maiores quantidades relativamente ao urânio (²³⁸U), a presença destes dois isótopos de radão no solo é similar. Porém o isótopo predominante no radão da atmosfera é o ²²²Rn, a sua grande vantagem é a mobilidade, uma vez que é o único gás das séries de decaimento natural [3] [5].

Quando nos referimos ao risco associado ao radão, não é este o grande motivo de preocupação, uma vez que a maioria do radão inalado durante a inspiração é eliminado na expiração. O grande problema são os seus descendentes diretos, gerados por sucessivos decaimentos (figura 14), principalmente o polónio (²¹⁸Po e ²¹⁴Po) que, ao entrar nos pulmões, através das vias respiratórias, é o responsável pela deposição de energia nas células dos vários epitélios do aparelho respiratório. Estes isótopos são partículas sólidas e têm uma meia vida, que não ultrapassa vários minutos. Estas partículas encontram-se ligadas a pequenas partículas de pó (aerossóis) no ar interior e, quando são inaladas, parte é depositada nos pulmões onde são emitidas partículas alfa que são absorvidas pelos tecidos pulmonares mais próximos. A dose de radiação resultante aumenta o risco do cancro do pulmão [1].

A Environmental Protection Agency (EPA) dos Estados Unidos diz que 1 a 3 em cada 100 pessoas que, durante a sua vida respirem ar com concentrações de radão superiores a 150 Bq.m⁻³ correm o risco de ser afetadas por cancro do pulmão. Este risco agrava-se no caso de as pessoas serem fumadoras, uma vez que o tabaco é o principal causador do cancro do pulmão [1].

Sendo o radão um gás prejudicial à saúde que preocupa diversas entidades em todo o mundo, existem várias normas que referem os limites máximos para a concentração de radão no interior das habitações. A Comissão Europeia emitiu em 21 de Fevereiro de 1990 a recomendação 90/143/EURATOM, que estipula o valor máximo de 400 Bq.m⁻³ para uma média anual de concentrações de radão no ambiente interior de habitações já construídas, e de 200 Bq.m⁻³ para novas habitações. Em Portugal a recomendação que vigora é o Decreto-Lei n.º 118/2013,

estipulando um limite máximo de $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, sendo obrigatória a sua pesquisa em edifícios construídos em zonas graníticas, como é o caso dos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco [1].

2.2.1 Concentração de radão em Portugal

Em Portugal, são várias as instituições que têm desenvolvido trabalho no âmbito do diagnóstico das concentrações de radão. O Departamento de Proteção Radiológica e Segurança Nuclear, atual Unidade de Proteção e Segurança Radiológica do CTN tem vindo, desde 1988, a desenvolver um considerável esforço no sentido de obter um levantamento, a nível nacional e o mais pormenorizado possível, das concentrações de radão no interior das habitações. O mapeamento genérico das zonas de maior concentração de radão foi, pois, realizado há duas décadas. Trata-se de um mapa genérico (figura 14), embora didático, que não é suficiente para servir como um instrumento de planeamento do território e de construção [2].

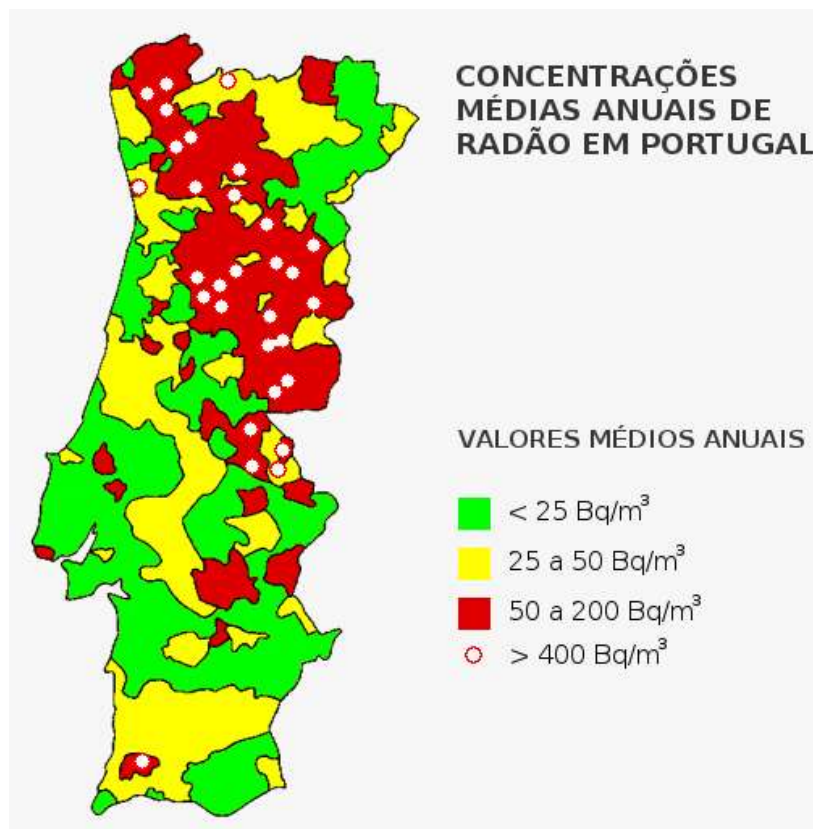
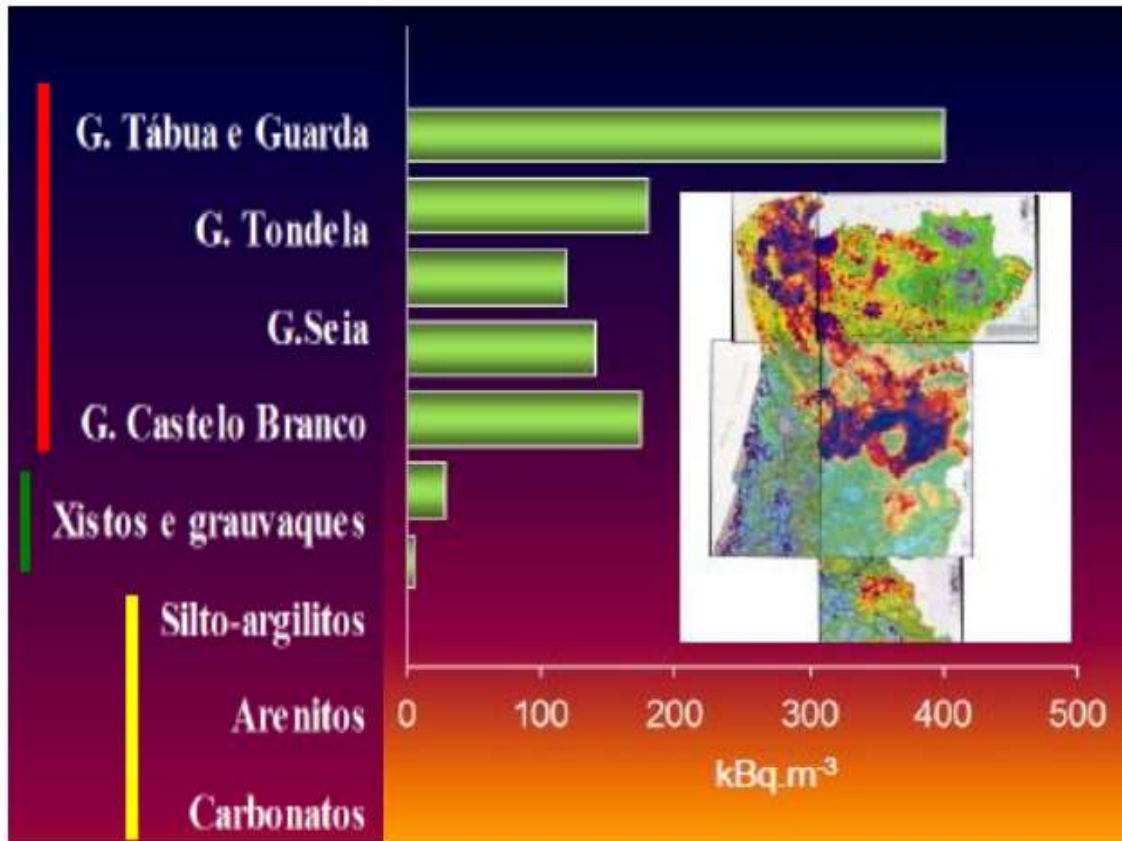


Figura 14: Distribuição das concentrações médias de radão em Portugal [9].

Em Portugal, foram realizados vários estudos de concentração de radão, em habitações, solos, rochas e águas subterrâneas. Em relação ao estudo de concentração de radão nas habitações, foram efetuados em 4200 habitações, onde se verificou que aproximadamente 60% da concentração de radão se situava abaixo dos $50 \text{ Bq}/\text{m}^3$, 2,6% das habitações controladas, apresentaram níveis médios anuais de radão superiores a $400 \text{ Bq}/\text{m}^3$.

Bq/m³. Estes valores, são influenciados, pela localização da habitação, pois em cada concelho existem tipos de rochas diferentes [20]. Em relação ao estudo de concentração de radão nos solos, verificou-se que o concelho de Guarda e Tábua, apresentam maior concentração de radão, como indica a figura 15.

Figura 15: Concentração de radão em solos [20].



2.2.2 Radão em ambiente interior

O radão que se liberta, espontaneamente, do solo pode penetrar num edifício através de fendas nas fundações, nas lajes em contacto com o solo, e em torno das canalizações, nas juntas da construção, e nas fendas das paredes, acumulando-se em áreas mal ventiladas (figura 16). Durante as estações frias quando as janelas estão fechadas e os aquecedores ligados, a diferença de temperatura entre o interior e exterior das habitações, origina um gradiente térmico causando um efeito de escoamento térmico. Como no interior dos edifícios o ar quente sobe, vai criar uma diferença de pressão nas zonas inferiores do edifício provocando sucção do radão entre o solo e a habitação. Os valores da concentração de radão vão depender da quantidade de urânio e rádio presentes no solo, da quantidade de fendas existentes nas paredes e fundações do edifício, da impermeabilidade entre diferentes pavimentos, entre outros. Esses valores podem também depender dos materiais de construção utilizados, uma vez que se estes forem ricos em urânio verifica-se um aumento dos níveis de radão. A concentração de radão no interior pode aumentar também no caso em que a água, que abastece a habitação, é proveniente de captação subterrânea [1].

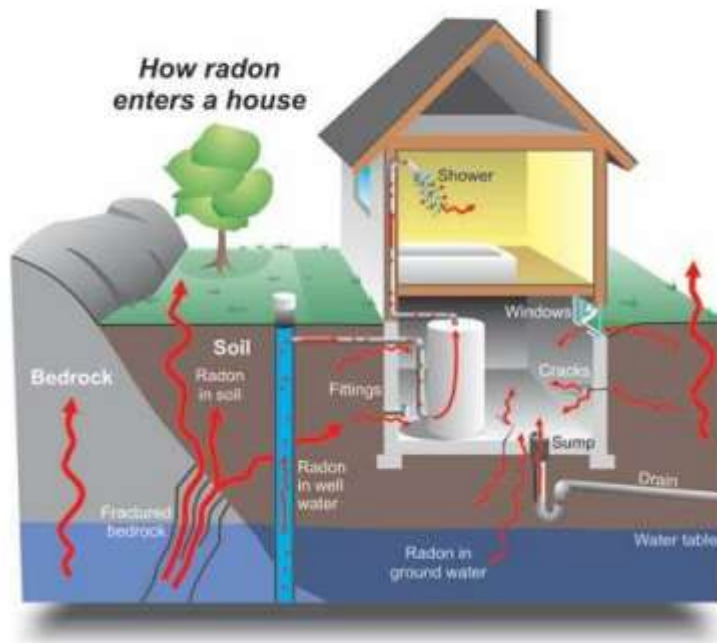


Figura 16: Transferência do gás radão para o interior de uma habitação [21].

O radão entra nas habitações, através de vários mecanismos, que são:

- **Advecção** - movimentos causados pelas diferenças de pressão que existem entre o solo e o interior da habitação;
- **Difusão** - movimentos devidos a um gradiente de concentração de radão entre o solo e o interior da habitação;
- **Infiltração** - o ar exterior entra na habitação por portas ou janelas, trazendo consigo uma certa concentração de radão com variações diurnas e sazonais [17].

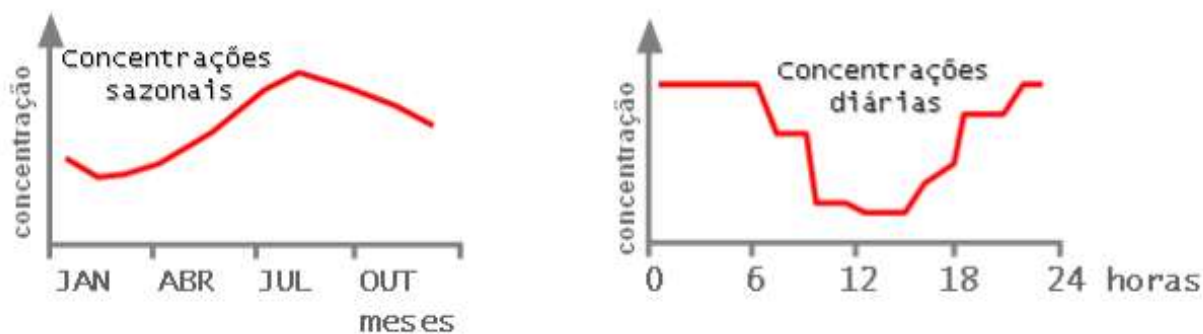


Figura 17: Gráficos de variações das concentrações médias de radão habitacional [3].

2.3 Medidas de mitigação do radão no interior dos edifícios

Quando se pretende estudar soluções que visem a redução da contaminação radioativa, provocada pelo radão no interior dos edifícios, é de grande importância ter em consideração:

- A cadeia de decaimento devido às reações físicas da transformação atómica do urânio (^{238}U) até ao radão (^{222}Rn) e dos seus descendentes até formar o chumbo (^{206}Pb);
- A distribuição mineralógica destes elementos radioativos nas litologias e solos e os fenómenos de mineralização secundária, responsáveis pelas elevadas concentrações, que se notam em alguns locais das estruturas dos maciços graníticos ou das zonas de contacto com rochas sedimentares em que ocorrem estas mineralizações;
- Os processos de migração e emanação, do radão no solo e deste para a atmosfera ou para o interior dos edifícios;
- O estudo do clima (temperatura, chuva e vento) nos processos de migração e emanação do radão para o interior dos edifícios;
- Os sistemas de ventilação, as taxas de renovação de ar e as quantidades de radão medidas no interior dos edifícios;
- A relação entre a radiação no exterior e interior dos edifícios, a estrutura geológica, a quantidade de radão presente no solo.

A partir da análise destes fatores podemos aplicar as técnicas que permitem minimizar a migração do radão para o interior dos edifícios de modo a manter as suas concentrações dentro dos limites estabelecidos [1].

No caso da construção de novos edifícios devem ser estudadas todas as soluções arquitetónicas e construtivas que reduzam o contacto do edifício com o solo e todas as que evitem as

infiltrações do radão, de forma a que se reduzam ao máximo os níveis de radiação no interior do edifício.

Na figura 18 são indicadas, esquematicamente, soluções a evitar, uma vez que facilitam a entrada de radão nos edifícios e soluções que se recomendam para reduzir os seus níveis [1].

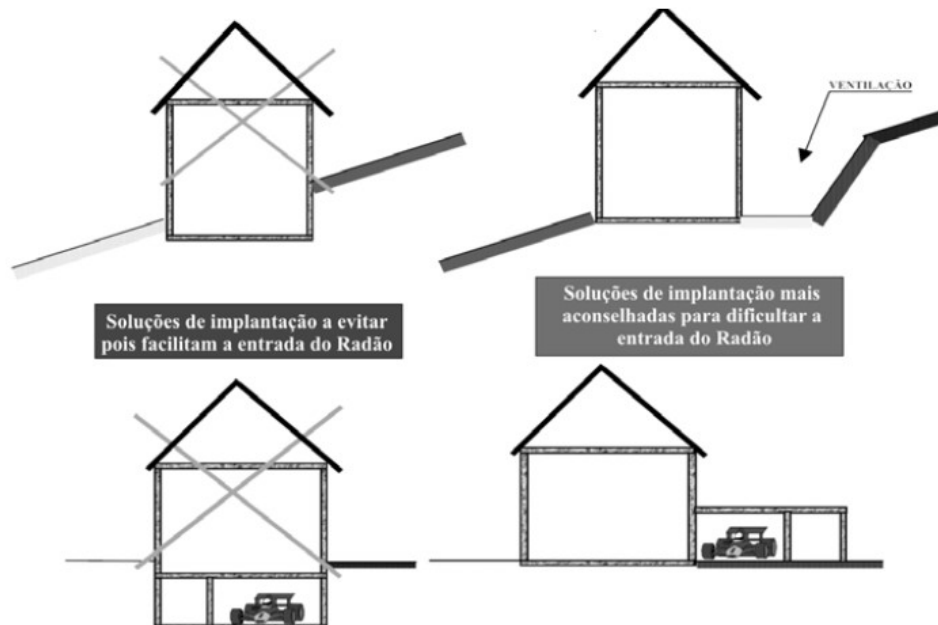


Figura 18: Soluções da relação edifício/terreno para redução dos níveis de radão [22].

Na figura 19 é apresentado um procedimento de drenagem do radão entre o terreno e o piso térreo, utilizando caixas e tubagem perfurada. A passagem do gás através da laje em contacto com o solo de fundação faz-se pelos orifícios que ligam as várias zonas. As soluções esquematizadas utilizam a depressão provocada pelo vento em conjunto com o movimento ascensional provocado pelas diferenças de temperatura entre o ar junto ao solo e o ar atmosférico ao nível da cobertura [1].

No caso de habitações já construídas existem técnicas de fácil aplicação para reduzir os níveis de radiação emitidos pelo radão. Basta que o arquiteto, que elabora o projeto, tenha em conta alguns pormenores construtivos que permitam melhorar as condições de ventilação do edifício e muito especialmente a zona entre o piso térreo e o terreno. Também é importante que seja colocado um material que sirva como barreira para impedir a entrada de radão nas paredes e nos pisos em contacto com o solo de forma a que o radão não passe para o interior do edifício. No caso de haver edifícios em locais com elevada emanação de radão pode ser necessário recorrer a sistemas de ventilação ativa (com o uso de ventilação mecânica) ou passiva (com o uso de ventilação natural) por aspiração entre o piso térreo e o solo (figura 20) [1].

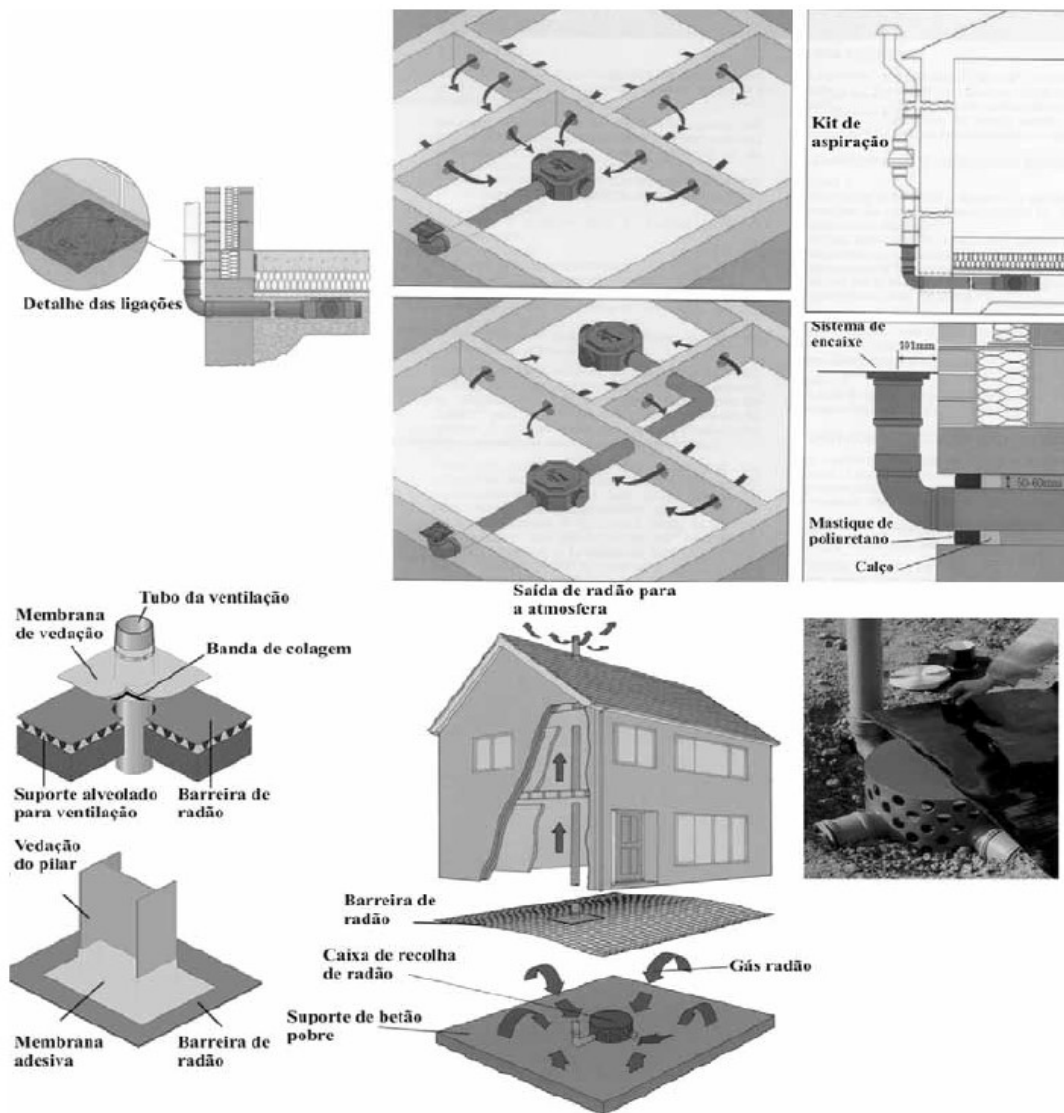


Figura 19: Esquema da drenagem de radão a instalar na parte inferior do piso térreo. Sistema de ventilação por tiragem natural ou com ajuda de um ventilador para criar a depressão necessária [22].

O custo deste tipo de instalações, quando previstas em projeto, é reduzido, sendo facilmente enquadrável no orçamento total da obra, com a finalidade de obter vantagens em termos de saúde para futuros utilizadores dos edifícios [22].

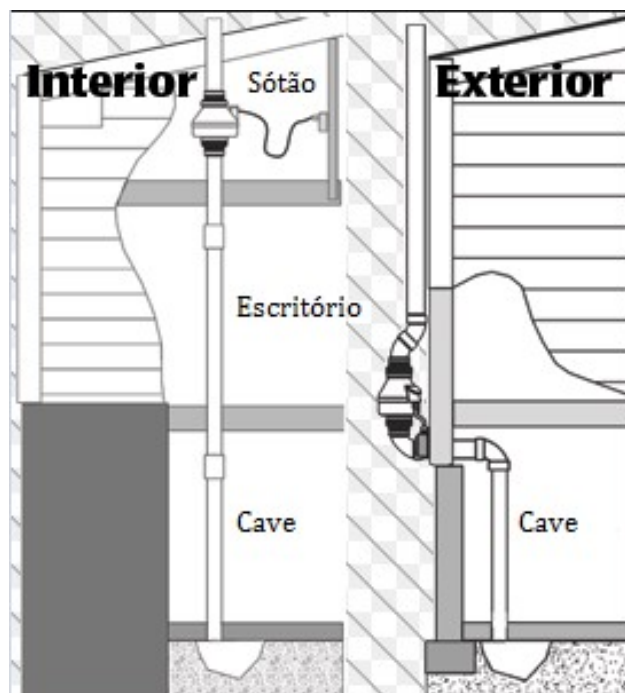


Figura 20: Imagem dos sistemas de ventilação passiva (interior) e ativa (exterior) [1].

2.4. Libertação de radão nos diferentes tipos de materiais e revestimentos

Sabendo que o radão é um gás inodoro e incolor, prejudicial à saúde, este trabalho foi desenvolvido de forma a obter mais informações sobre o que se passa no interior dos edifícios em termos radioativos, em particular o efeito do radão.

Quando se constrói uma habitação escolhem-se os materiais que garantem maior qualidade e maior durabilidade, mas as emissões radioativas não são, normalmente, consideradas. Estudos comprovam que a dose derivada dos materiais de construção pode chegar a 60% da dose total radiação recebida pelo homem. Isto ocorre porque grande parte dos materiais de construção contêm urânio 238, tório 232, potássio 40, entre outros. [23] [24].

Para se saber se os materiais de construção podem ser usados, deve-se observar os níveis de radiação que limitam a sua exposição nos ambientes. O nível de radiação está relacionado com a elevada dose efetiva emitida pelos isótopos naturais, se os materiais forem compostos por esses isótopos terão o índice de concentração de atividade mais elevado que o nível de radiação. O nível de radiação a que o homem está exposto, devido aos raios gama nos materiais de construção é de 1 mSv por ano. A concentração de radão nos ambientes internos depende da quantidade de radão proveniente do solo, rochas, materiais de construção e do radão libertado pela água [25].

O índice de concentração de atividade, I , é usado para avaliar se o nível de ação é excedido. Este índice de concentração de atividade é determinado a partir da concentração de atividade

medida nos materiais de construção, ou seja, calcula-se com base na concentração da atividade do rádio, na série de decaimento do urânio, do tório e do potássio. No caso de o índice de concentração de atividade exceder 1, é necessário avaliar o nível de radiação emitido. Se o índice de concentração de atividade for igual ou inferior a 1, o material pode ser usado sem restrições [25].

O índice de concentração de atividade nos materiais de construção é obtido através da equação 9, onde C_{Th} , C_{Ra} e C_K são as concentrações das atividades dos isótopos ^{232}Th , ^{226}Ra e ^{40}K , expressa em Bq/kg [25].

$$I = \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_K}{3000} \quad (10)$$

Segundo experiências de vários autores, verifica-se que existe um variado número de resultados relativamente à emissão de radão a partir dos materiais utilizados na construção de habitações. Para se fazer uma comparação no capítulo relativo às conclusões, enumeram-se aqui alguns resultados já estudados relativos aos mesmos materiais utilizados neste trabalho experimental [1].

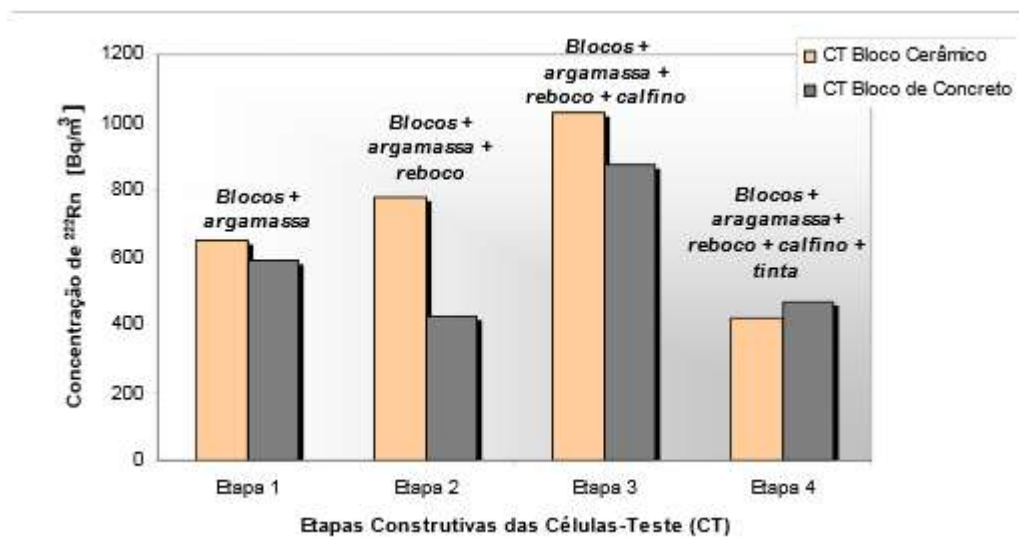


Figura 21: Concentração de ^{222}Rn por etapa construtiva das células [25].

A figura 21 apresenta a concentração de ^{222}Rn nas 4 etapas construtivas. Os provetes realizados na etapa 1 são constituídos por tijolos cerâmicos ou de betão, ligados com argamassa com um traço 1:2:8 (cimento/cal/areia). Na etapa 2, é aplicado aos mesmos tijolos um reboco com o mesmo traço utilizado na etapa 1. Na etapa 3 os provetes foram revestidos com estuque que possuía um traço 1:2:9. Na etapa 4 os provetes foram revestidos por tinta de óleo e acrílica fosca. Importa destacar que os tijolos cerâmicos emitem mais radão do que os de betão. No que se refere a revestimentos o caso mais gravoso é o estuque. O maior contributo para o

aumento da concentração do radão no interior das habitações é aquele que é proveniente dos solos, é muito difícil calcular a percentagem daquele elemento atribuída aos materiais de construção sem um seguimento adequado. Por esta razão e pelo risco de potenciar as concentrações de radão, os materiais utilizados para a construção de habitações devem ser seleccionados de forma a minimizar o risco, principalmente nas zonas geológicas em que este é elevado. A tabela 4 apresenta algumas conclusões [1]:

Tabela 4: Concentração de Rádio em alguns materiais de construção [16].

Material	Concentração de Rádio [pCi/kg]
Cimento	270-1350
Betão	270-2160
Tijolo	540-5404
Adobe	540-5404
Granito	2700-5404
Tufos	2700-16216
Gesso (natural)	135-540
Betão com xistos aluminosos	8101-67567
Gesso (plasterboard)	13510-54050
Cinzas volantes	1350-8108

A maioria dos revestimentos utilizados nas construções resultam de materiais existentes na crosta terrestre, que são, com maior ou menor intensidade, radioativos dependendo da sua natureza e procedência. A Figura 22 apresenta doses típicas de radiação encontradas em diversos revestimentos [1].

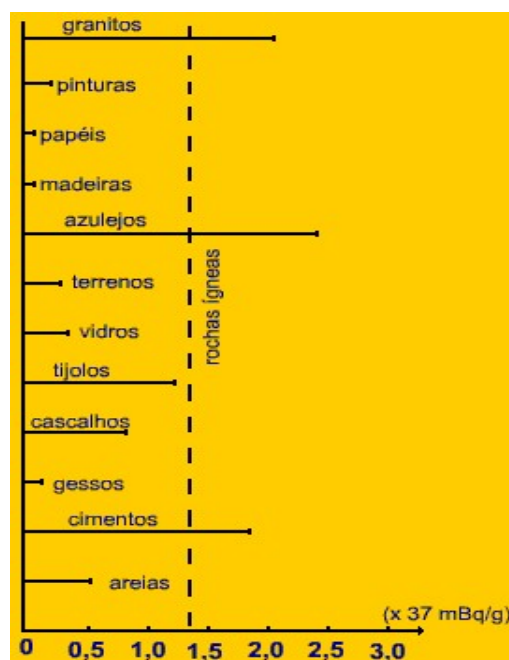


Figura 22: Conteúdo de ^{226}Ra para diversos materiais de construção [1].

Através dos valores indicados na figura verifica-se que os materiais que emitem mais radiação são o granito e os tijolos. No caso dos revestimentos verifica-se que as pinturas emitem mais radiação do que os gessos.

Em 2013, Mortazavi produziu duas casas modelo cuja estrutura era constituída por madeira. Aplicou diversos revestimentos, dos quais se destacam a pintura convencional, a tinta plástica e o gesso cujas concentrações de radão são, respetivamente $515,3 \pm 17,8 \text{ Bq/m}^3$, $936,8 \pm 60,6 \text{ Bq/m}^3$ e $590,9 \pm 49 \text{ Bq/m}^3$. [26]

Recentemente, alguns autores de várias universidades da Índia concluíram que a quantidade de radiação emitida pelo tijolo, pelo tijolo revestido por estuque e pela tinta branca é respetivamente, ($850,7 \text{ Bq/m}^3$), (1073 Bq/m^3) e (1044 Bq/m^3) [4].

Tabela 5: Características de vários tipos de materiais [1].

Tipos / Cores das pinturas	Radão [Bq/m³]
Tijolo	850,7
Tijolo com estuque	1073,0
Preto	1108,2
Amarelo	1514,6
Verde	1175,1
Vermelho	897,4
Azul	956,6
Laranja	1288,3
Branco	1044,0
Prateado	1000,3

Na tabela 5 estão também indicados valores de concentração de radão obtidos com tintas de cores.

Em termos de revestimentos a situação não é assim tão trivial, Loriane Fior e os vários autores da Índia referem que o estuque emite mais radiação em relação às tintas, enquanto Ruiperez defende o contrário. Aqui também é importante mencionar a composição química das tintas e do gesso que compõe o estuque, uma vez que diferentes constituintes destes materiais alteram os níveis de radiação emitidos [1].

Capítulo 3 Trabalho Desenvolvido

Este trabalho foi elaborado com o intuito de estudar os materiais de revestimento como barreiras de radão, para tal foram realizados catorze provetes de acrílico, quatro provetes com 3 compartimentos e dez provetes apenas com um compartimento com +-1000 cm³ de volume interior para cada compartimento, os provetes triplos tem +-3000 cm³ de volume interior. Para este trabalho utilizamos os materiais de revestimento mais usuais na construção civil, tais como ladrilhos porcelânicos e cerâmicos, soalho de pinho e flutuante laminado acrílico, tinta de água acrílica e tinta plástica tipo membrana, tela em PVC e carpete modular. Para estudar os resultados utilizamos métodos passivos de deteção.

3.1. Detetores

A deteção da radiação, seja qualitativa ou quantitativa, só pode ser realizada com a ajuda de materiais ou instrumentos capazes de captar e registar a sua presença. A deteção é consequência da interação da radiação com um meio sensível (detetor). Num sistema de deteção, os detetores de radiação são os dispositivos sensíveis à radiação ionizante, utilizados para determinar a quantidade de radiação presente num determinado local/meio de interesse. Os detetores que indicam a quantidade total de radiação a que uma pessoa está/foi exposta são designados por dosímetros [17].

Podemos destacar dois tipos de detetores, ativos e passivos:

- **Deteção ativa:** tem como função realizar medições instantâneas de concentrações de radão ou descendentes do ar em intervalos de tempo curtos, habitualmente minutos. A amostra de ar recolhida, é seguidamente tratada num aparelho de deteção de radiação onde se consegue medir isoladamente o ²²²Rn dos seus descendentes. Para isso recorre-se ao uso de filtros, campos electrostáticos negativos ou então unicamente deixar a amostra de ar durante 3 horas em repouso para que a maior parte dos descendentes do radão que entraram no volume de deteção decaia radioactivamente para se conseguir medir isoladamente o radão dos seus descendentes. Os dispositivos utilizados com mais frequência são as células de Lucas, câmaras de ionização, espectrómetros alfa, método de dois filtros e o método de contagem direta [1].
- **Deteção passiva:** faz as medições no ambiente que queremos estudar, durante um determinado período de tempo, que pode variar dependendo do tipo de detetor. Neste tipo de detetores o isótopo ²²²Rn é detetado através dos traços formados pelas partículas alfa nos detetores depois de um tratamento químico ou eletroquímico adequado, os traços vão ser suficientemente alargados e alongados de forma a serem visíveis num microscópio ótico. O número de traços contados inseridos numa demarcada área tem como resultado um valor que se relaciona com a exposição armazenada, realizando a concentração média do período de exposição [1]. Neste trabalho foi apenas utilizado detetores passivos.

3.1.1. Detetor CR39

Estes detetores também são conhecidos por detetores passivos ou de traço, isto porque quando detetam radiações alfa provocadas pela passagem de radiações corpusculares vão sofrer danos na sua estrutura molecular acabando por formar traços latentes. O detetor CR39, um monómero dialil-carbonato-dietileno-glicol, é dos detetores mais usados e foi desenvolvido para ser utilizado como lente ótica. Este dispositivo garante traços regulares e um contraste ideal entre os traços e o próprio material plástico, facilitando a observação dos mesmos em um microscópio ótico [17].

Os detetores plásticos (sólidos) de traços (figura 23), do tipo passivo, apresentam algumas vantagens, como é o caso de serem baratos, insensíveis à luz visível, às partículas beta e gama, eficientes na detecção e terem a capacidade de fazer medições a longo prazo. A desvantagem é a necessidade de um microscópio ótico para a obtenção de resultados. Normalmente apresentam erros de precisão, principalmente se a medição for feita em zonas de baixa radiação. Podem também aparecer erros se não se tiver cuidado a remover o detetor do local em estudo e transporta-lo para o laboratório onde serão analisados os resultados. Para evitar o risco de erros, depois de irradiados, os detetores devem ser colocados em bolsas de alumínio que os protegem de qualquer tipo de radiação [17].



Figura 23: Detetor CR39.

3.1.1.1. Processo de revelação e contagem

Para efetuar a revelação dos detetores CR39 é utilizada uma solução de hidróxido de sódio, com uma concentração de 6,25 mol a 90 °C. É também necessário utilizar ácido acético e água destilada para preparar o banho de limpeza. Após a ligação do aparelho NanoReader Bath (figura 24), espera-se cerca de 25 segundos e coloca-se 200 ml da solução de hidróxido de sódio no seu interior de seguida espera-se o tempo que levar até que a solução atinja a temperatura

normal de funcionamento de 90 °C. O aparelho emite um sinal sonoro quando esta temperatura é atingida de seguida imerge-se no NanoReader Bath o suporte com os detetores durante 4 horas, que é o tempo necessário para efetuar a sua revelação. Este é um processo exotérmico que pode gerar vapores nocivos, contudo a estrutura compacta do NanoReader Bath impede a libertação desses gases para o exterior [1].



Figura 24: Unidade NanoReader Bath.

A velocidade com que a solução dissolve o plástico do detetor, ao longo do traço (V_t) é maior do que a velocidade com que a superfície é dissolvida (V_b), isto acontece porque na região onde o detetor fica danificado pela radiação há quebras de ligações químicas [1].

Através das seguintes relações consegue-se determinar os valores das velocidades V_b e V_t :

$$V_b = \frac{h}{t} \quad (11)$$

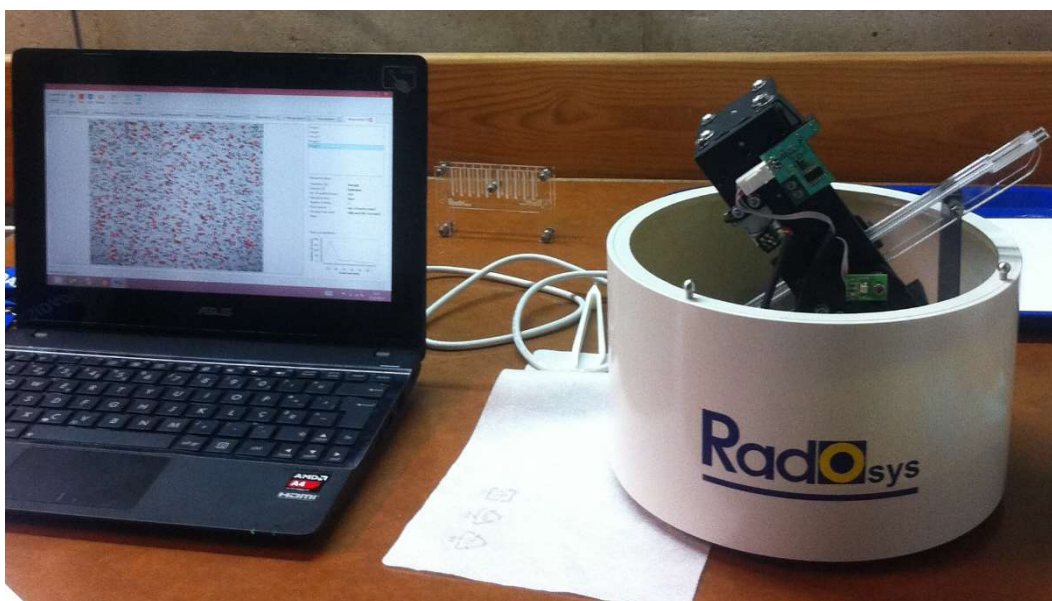
$$V_t = \frac{l}{t} \quad (12)$$

Onde, h , é a espessura da camada dissolvida, em relação à superfície original do detetor, t , é o tempo de exposição do detetor à solução usada, independentemente da sua natureza e, l , é a extensão do traço.

Após ao processo de limpeza é necessário passar os detetores por um banho de neutralização. Este banho é efetuado com recurso a cerca de 200 ml de ácido acético, esta solução é posta num gobelé, onde é mergulhado o suporte com os detetores cerca de 10 minutos para finalizar são mergulhados dentro de um gobelé, com cerca de 200 ml de água destilada, durante 10 minutos. O traço formado após o ataque químico da solução, quando observado ao microscópio ótico pode ser um círculo ou uma elipse, no caso de ser observado transversalmente à superfície do detetor pode ser semelhante a um cone. O microscópio NanoReader determina a densidade dos traços a partir do número de traços presentes numa determinada área. Logo que os detetores estejam bem secos, analisam-se individualmente no microscópio NanoReader, ligado a um computador e que possui um software capaz de ler e quantificar os traços automaticamente, utilizando parâmetros de calibração fornecidos e atualizados pelo fabricante [27].

Cada detetor é lido duas vezes ou mais, com orientações diferentes para obter uma boa análise da densidade dos traços até ter dez leituras de cada. O valor da concentração de cada detetor é obtido diretamente, registando apenas o seu tempo de exposição.

Figura 25: Unidade NanoReader e computador com software apropriado.



Para obter os resultados finais, após as duas ou mais leituras efetuadas em cada detetor, é necessário colocar o tempo de exposição do detetor, ou seja, a data em que foi colocado e retirado. Posto isto o software mostra o resultado de cada leitura na unidade do sistema internacional Bq/m³.

3.2. Formulação teórica de estatística

A informação contida em cada detetor é lida 10 vezes, com o objetivo de conseguir eliminar os erros no processo de identificação automática de traços e sua contagem, utilizando esta repetição de leituras estabelece-se um melhor grau de confiança no processo.

Para isso, é necessário ter alguns conhecimentos base de estatística, uma vez que é necessário determinar a média, o desvio padrão, o desvio padrão da média e o desvio médio percentual.

A média é um valor que aponta para onde mais se concentram os dados de uma distribuição. O seu valor foi determinado segundo a equação 12, em que, X , representa o valor de cada leitura e, n , é o número total de leituras [1].

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (13)$$

O desvio padrão mostra a quantidade de variação que existe em relação à média. Esta quantidade é determinada a partir da equação 13, onde, \bar{x} , toma o valor da média, o

parâmetro, x , representa o valor de cada leitura e, n , corresponde ao número total de leituras [1].

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (14)$$

O desvio padrão da média representa o valor da incerteza da medição. Este valor é dado pela equação 14, onde, s , representa o valor do desvio padrão e, n , refere-se ao número de amostras [1].

$$s_m = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (15)$$

O desvio médio percentual refere o valor de variação da média em relação ao desvio padrão da média. Este fator é dado pela equação 15.

$$s\% = \frac{\bar{x}}{s_m} \quad (16)$$

3.3. Parte prática

Foram adquiridas as várias partes de acrílico e unidos com silicone para elaborar os provetes como está representado na figura 26.

Nos quatro provetes triplos foram testados os seguintes materiais:

- Ladrilhos
- Madeiras
- Tintas
- Menos usuais



Figura 26: Colagem das caixas de acrílico com silicone.

As caixas maiores são divididas em três compartimentos pelos respectivos materiais a serem estudados, no compartimento do centro é colocada uma fonte geradora de radão. São colocados detectores cr39 em cada compartimento com o objetivo de determinar as condições de transmissão de radiação. O intervalo de tempo testado foi aproximadamente 15 dias.

As caixas pequenas servem para determinar se o próprio revestimento emite radiação. O intervalo de tempo testado foi +-60 dias.

3.4. Provetes de Ladrilho

No provete de ladrilhos, foi testado um revestimento cerâmico de pasta branca e um grés fino porcelânico visto serem os mais usuais na construção civil. Os dois ladrilhos são da marca pavigrés.

Para a realização deste provete foi necessário a caixa de acrílico previamente feita, os ladrilhos na medida certa e silicone para fixar os pedaços de ladrilho no devido lugar de modo a ficar cada compartimento estanque.



Figura 27: Corte dos ladrilhos com auxílio da rebarbadora.



Figura 28: Colagem dos ladrilhos com auxílio de silicone de modo a fazer três compartimentos idênticos.

De seguida foi colocada a fonte geradora de radão no compartimento central e os detetores cr39 em cada compartimento. Procedeu-se a colagem da tampa da caixa. Foram também realizadas também duas caixas pequenas de acrílico uma para cada amostra de ladrilho, cada uma com um detetor no seu interior e fechadas para testar a possível produção de radão de cada amostra. Foi anotada a hora e a referência do detetor.



Figura 29: Provette já com os respectivos ladrilhos no lugar, fonte geradora de radão no centro e os três detetores cr39, um em cada compartimento.

A tabela 6 refere os dados e ainda a data na qual foram abertos os provetes, para retirar os detetores com o objetivo de estudar os resultados.

Tabela 6: Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de três compartimentos e de um compartimento de ladrilhos.

Tipo de provete	Designação	Referência	Dia de colocação do detetor	Dia de retirada do detetor	Número de dias de exposição
Caixa tripla	Cerâmico	225202	26-11-2014	10-12-2014	15
Caixa tripla	Fonte de radão	225106	26-11-2014	10-12-2014	15
Caixa tripla	Porcelânico	225404	26-11-2014	10-12-2014	15
Caixa individual	Porcelânico	225200	26-11-2014	21-01-2015	56
Caixa individual	Cerâmico	225218	26-11-2014	21-01-2015	56

3.5. Provetes de madeira

No provete de madeira, foi testado um revestimento de soalho de pinho e um flutuante laminado sintético com uma classificação AC3, visto serem os mais usuais na construção civil.

Para a realização destes provetes, foi necessário recorrer ao uso de uma serra elétrica para cortar o pedaço de soalho e flutuante com as dimensões corretas, para posteriormente se proceder à montagem das peças.



Figura 30: Corte do soalho e do flutuante com auxílio de uma serra elétrica.

De seguida foi colocada a fonte geradora de radão no compartimento central e os detetores cr39 em cada compartimento. Procedeu-se a colagem da tampa da caixa. Realizou-se também duas caixas pequenas de acrílico uma para cada amostra de madeira, cada uma com um detetor no seu interior e fechadas para testar a possível produção de radão de cada amostra.

Foi anotada a hora e a referência do detetor.



Figura 31: provete individual já selado com a peça de soalho e detetor no seu interior.

Na tabela 7 estão referidos os dados relativos aos provetes de madeiras, na qual foram abertos os provetes, para retirar os detetores com o objetivo de estudar os resultados.

Tabela 7: Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de três compartimentos e de um compartimento de madeira.

Tipo de provete	Designação	Referência	Dia de colocação do detetor	Dia de retirada do detetor	Número de dias de exposição
Caixa tripla	Soalho	225205	26-11-2014	10-12-2014	15
Caixa tripla	Fonte de radão	225028	26-11-2014	10-12-2014	15
Caixa tripla	Flutuante	224939	26-11-2014	10-12-2014	15
Caixa individual	Soalho	225112	26-11-2014	21-01-2015	56
Caixa individual	Flutuante	225329	26-11-2014	21-01-2015	56

3.6. Provetes de tinta

No provete de tinta, foi testado uma tinta de água acrílica e uma tinta plástica tipo membrana, tendo em conta serem as mais habituais na construção civil.

Para a realização destes provetes, foi necessário produzir um suporte em rede mosquiteira metálica de modo a ter uma superfície para aplicar as tintas. Posteriormente se proceder à montagem das peças.

Foi colocada a fonte geradora de radão no compartimento central e os detetores cr39 em cada compartimento. Procedeu-se a colagem da tampa da caixa. Realizou-se também duas caixas pequenas de acrílico uma para cada amostra de tinta, cada uma com um detetor no seu interior e fechadas para testar a possível produção de radão de cada amostra.

Foi anotada a hora e a referência do detetor.



Figura 32: Detetor no interior de provete com o suporte de rede revestido a tinta plástica.

Na tabela 8 estão referidos os dados relativos aos provetes de tintas, na qual foram abertos os provetes, para retirar os detetores com o objetivo de estudar os resultados.

Tabela 8: Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de três compartimentos e de um compartimento da tinta.

Tipo de provete	Designação	Referência	Dia de colocação do detetor	Dia de retirada do detetor	Número de dias de exposição
Caixa tripla	Plástica	224907	03-19-2015	07-04-2015	19
Caixa tripla	Fonte de radão	225124	03-19-2015	07-04-2015	19
Caixa tripla	Água	225311	03-19-2015	07-04-2015	19
Caixa individual	Plástica	225112	21-01-2015	19-03-2015	56
Caixa individual	Água	225329	21-01-2015	19-03-2015	56

3.7. Provetes de revestimentos menos utilizados

Nestes provetes, testei um de carpete modular e outro de tela em PVC.

Para a realização destes provetes, foi necessário cortar a alcatifa e a membrana com ajuda de utensilio adequado para os tamanhos desejados.

Foi colocada a fonte geradora de radão no compartimento central e os detetores cr39 em cada compartimento. Procedeu-se a colagem da tampa da caixa. Realizou-se também duas caixas pequenas de acrílico uma para cada amostra de tinta, cada uma com um detetor no seu interior e fechadas para testar a possível produção de radão de cada amostra.

Foi anotada a hora e a referência do detetor.



Figura 33: Proвете com as respetivas amostras de carpete e membrana, fonte geradora de radão no centro e os três detetores cr39, um em cada compartimento.

Tabela 9: Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de três compartimentos e de um compartimento dos revestimentos menos usados.

Tipo de provete	Designação	Referência	Dia de colocação do detetor	Dia de retirada do detetor	Número de dias de exposição
Caixa tripla	Carpete	225309	03-19-2015	07-04-2015	19
Caixa tripla	Fonte de radão	225129	03-19-2015	07-04-2015	19
Caixa tripla	Tela	225023	03-19-2015	07-04-2015	19
Caixa individual	Carpete	225198	21-01-2015	19-03-2015	56
Caixa individual	Tela	224940	21-01-2015	19-03-2015	56

3.8. Provetes de teste

Nos provetes de teste foi testado a produção de radão do próprio provete de acrílico e o poder de penetração do radão sobre o provete de acrílico.

Para a realização destes provetes, foi necessário duas caixas de um compartimento em acrílico detetores cr39, um saco estanque e uma fonte geradora de radão.

Para o primeiro provete foi só colocar o detetor cr39 no seu interior e selar; para o segundo provete foi colocado um detetor no seu interior posteriormente o provete é selado e posto dentro de um saco com uma fonte geradora de radão, de seguida é fechado o saco de modo a ficar estanque.

Foi anotada a hora e a referência do detetor.



Figura 34: Provete com o detetor cr39 no seu interior já selado.



Figura 35: Provete com o detetor cr39 no seu interior já selado dentro do saco hermético com a fonte geradora de radão no seu interior.

Tabela 10: Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de um só compartimento dos revestimentos menos usados.

Tipo de provete	Designação	Referência	Dia de colocação do detetor	Dia de retirada do detetor	Número de dias de exposição
Caixa individual	Radão do próprio provete	225013	03-19-2015	07-04-2015	19
Caixa individual	Dentro do saco e dentro da caixa de acrílico	223918	03-19-2015	07-04-2015	19
Caixa individual	Dentro do saco	225345	03-19-2015	07-04-2015	19

3.9. Revestimentos utilizados nos provetes

3.9.1. Ladrilho porcelânico

O ladrilho porcelânico utilizado nos provetes foi fabricada pela empresa Pavigrés Cerâmicas, S.A. que está situada em Anadia, e foi cedida pela empresa José Fernando Neves Lopes Construções Civis LDA, com sede em Vau, conselho de Óbidos.

Ladrilho para uso como revestimento e pavimento interior e/ou exterior, com as declarações de conformidade CE - EN 14411 (Anexo G), Grupo Bla, UGL/GL.



Figura 36: Caixa de ladrilho grés fino porcelânico usado nos provetes.

3.9.2. Ladrilho Cerâmico

O ladrilho cerâmico utilizado nos provetes foi fabricada pela empresa Pavigrés Cerâmicas, S.A. que está situada em Anadia, e foi cedida pela empresa José Fernando Neves Lopes Construções Civas LDA, com sede em Vau, conselho de Óbidos.

Ladrilho para uso como revestimento interior, com as declarações de conformidade CE - EN 14411 (Anexo L), Grupo BII, GL.

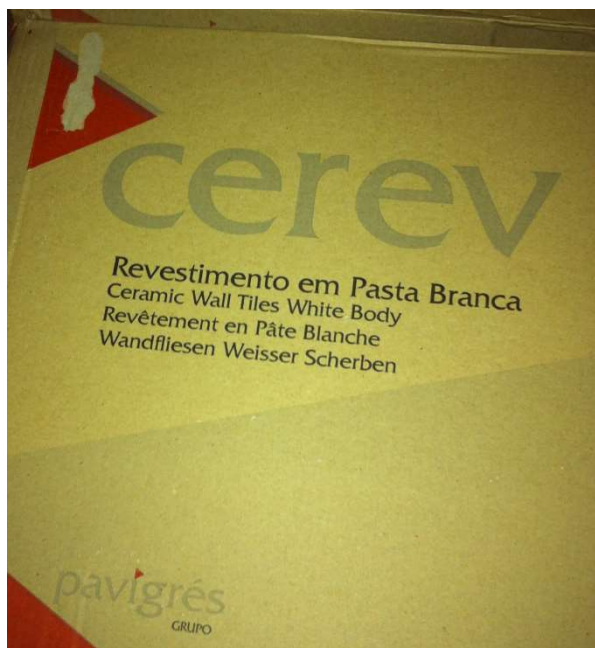


Figura 37: Caixa de ladrilho cerâmico em pasta branca usado nos provetes.

3.9.3. Soalho de pinho

O soalho de pinho utilizado nos provetes foram adquiridos na empresa MANUEL BARRETO - MADEIRAS, UNIPessoal, LDA encontra-se no concelho de LEIRIA, na localidade TORNADA CALDAS RAINHA, e foi cedida pela empresa José Fernando Neves Lopes Construções Civas LDA, com sede em Vau, conselho de Óbidos.

Foi utilizado uma peça de soalho com 2,5 cm de espessura já com o respetivo acabamento de verniz.



Figura 38: Amostra de soalho de pinho retirada da tabua de soalho.

3.9.4. Flutuante laminado acrílico

O flutuante sintético utilizado nos provetes foram adquiridos na empresa MANUEL BARRETO - MADEIRAS, UNIPESSOAL, LDA encontra-se no concelho de LEIRIA, na localidade TORNADA CALDAS RAINHA, e foi cedida pela empresa José Fernando Neves Lopes Construções Civas LDA, com sede em Vau, conselho de Óbidos.

Foi utilizado uma peça de flutuante com 0.8 cm de espessura com uma classificação AC3 de cor faia.



Figura 39: Amostra de flutuante laminado sintético retirado da tabua de flutuante.

3.9.5. Tinta de água acrílica

A tinta de água utilizada nos provetes, foi fabricada pela empresa Sultintas - Comercio e Industria de Tintas Lda; com sede em Évora, e foi cedida pela empresa José Fernando Neves Lopes Construções Civas LDA, com sede em Vau, conselho de Óbidos. A tinta é de cor branca, da marca moutil, foi retirada de um balde de 20 litros.

Após abrir o balde, mexeu-se bem a tinta com o objetivo de ficar a mais homogeneizada possível. De seguida, apliquei a tinta no suporte de rede mosquiteira com ajuda de uma pequena trincha, dando duas demãos no sentido oposto entre elas de modo a cobrir todos os poros. Esta tinta apresenta uma muito boa opacidade, elevada resistência à luz e aos álcalis é de realçar que é topo de gama da marca antes referida.

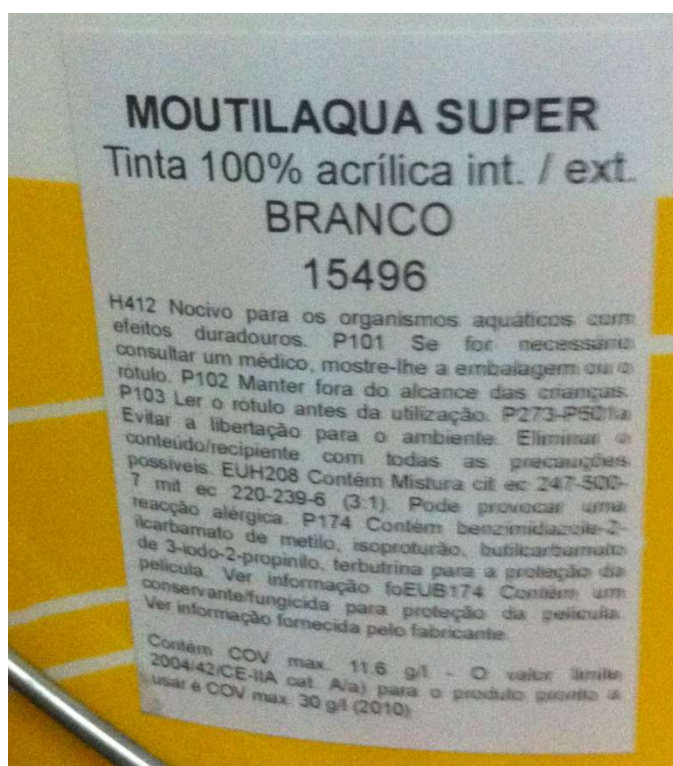


Figura 40: designação da tinta de água acrílica.

3.9.6. Tinta plástico tipo membrana

A tinta plástica utilizada nos provetes, foi fabricada pela empresa Sultintas - Comercio e Industria de Tintas Lda; com sede em Évora, e foi cedida pela empresa José Fernando Neves Lopes Construções Civas LDA, com sede em Vau, conselho de Óbidos. A tinta é de cor branca, da marca moutil, foi retirada de um balde de 20 litros.

Após abrir o balde, mexeu-se bem a tinta com o objetivo de ficar a mais homogeneizada possível. De seguida, apliquei a tinta no suporte de rede mosquiteira com ajuda de uma pequena trincha, dando duas demãos no sentido oposto entre elas de modo a cobrir todos os poros. Esta tinta apresenta uma muito boa opacidade, elevada resistência à luz e aos álcalis é de realçar que é topo de gama da marca antes referida.

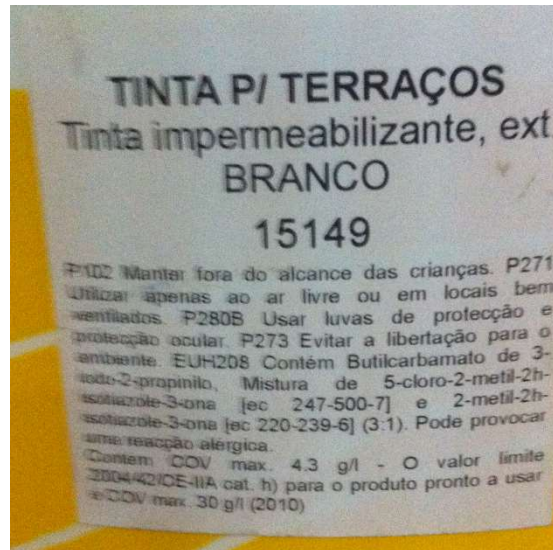


Figura 41: designação da tinta plástica.

3.9.7. Tela em PVC

A tela utilizada nos provetes foi fabricada pela empresa ALKORPLAN sediada na Bélgica e foi cedida pela empresa José Fernando Neves Lopes Construções Cívicas LDA, com sede em Vau, conselho de Óbidos.



Figura 42: telas de PVC [6].

3.6.8. Carpete modular

A carpete utilizada nos provetes foi fabricada pela empresa Desso sediada na Holanda, e foi cedida pela empresa José Fernando Neves Lopes Construções Cíveis LDA, com sede em Vau, conselho de Óbidos.



Figura 43: carpete utilizada nos provetes.

Capítulo 4 Resultados das medições

4.1. CR39

A leitura das lentes óticas dos detetores CR39, foi efetuada no laboratório de Estudos dos Efeitos de Exposição ao Radão (LabExpoRad), inserido no UBIMEDICAL, na Ubi. Esta leitura foi feita recorrendo ao aparelho NanoReader da marca Radosys. Os resultados das leituras podem não ser os mais corretos. Alguns dos detetores foram revelados numa solução, que possivelmente deixou um processamento incompleto e levou ao desenvolvimento de traços de menor dimensão.

Os provetes estiveram completamente selados. Cada um desses provetes continha no seu interior um detetor CR39, que nesse tempo, avaliou a concentração média de radão emitida por esses provetes. O valor de radão foi diferente para cada tipo de revestimento. Analisando a tabela 11, consegue-se observar as quantidades de radão geradas em cada provete.

Tabela 11: Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de três compartimentos designado por ladrilhos.

Ladrilhos				
Nº Leituras	Ladrilho cerâmico [Bq/m ³]	Fonte de radão [Bq/m ³]	Ladrilho porcelânico [Bq/m ³]	Dias de Exposição
1	1995	5132	4141	15
2	5785	6433	4453	
3	6957	5987	4352	
4	2038	5892	4218	
5	6106	4560	4423	
6	1135	5812	4512	
7	6423	6231	3987	
8	5869	5779	4143	
9	2578	4790	4403	
10	5498	6006	3991	
Média	4438,4	5662,2	4262,3	
Desvio Padrão	2214,88	622,44	192,26	
Desvio padrão da média	700,41	196,83	60,80	
% Desvio	15,78%	3,48%	1,43%	

Tabela 12: Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de três compartimentos designado por madeiras.

Madeiras				
Nº Leituras	Soalho [Bq/m3]	Fonte de radão [Bq/m3]	Flutuante [Bq/m3]	Dias de Exposição
1	633	1446	695	15
2	289	1423	357	
3	484	1443	471	
4	425	1462	484	
5	533	984	487	
6	559	1238	286	
7	455	1001	399	
8	594	1147	494	
9	422	1417	299	
10	581	1394	520	
Média	497,5	1295,5	449,2	
Desvio Padrão	103,34	189,14	120,54	
Desvio padrão da média	32,68	59,81	38,12	
% Desvio	6,57%	4,62%	8,49%	

Tabela 13: Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de três compartimentos designado por tintas.

Tintas				
Nº Leituras	Tinta de água [Bq/m3]	Fonte de radão [Bq/m3]	Tinta plastica [Bq/m3]	Dias de Exposição
1	736	812	780	19
2	769	824	999	
3	789	717	929	
4	685	572	1044	
5	685	902	1030	
6	845	1345	916	
7	857	983	937	
8	760	1223	932	
9	798	1134	1023	
10	655	1098	1109	
Média	757,9	961	969,9	
Desvio Padrão	68,16	240,51	91,46	
Desvio padrão da média	21,55	76,05	28,92	
% Desvio	2,84%	7,91%	2,98%	

Tabela 14: Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de três compartimentos designado por revestimentos menos utilizados.

Revestimentos menos utilizados				
Nº Leituras	Carpete [Bq/m3]	Fonte de radão [Bq/m3]	Membrana [Bq/m3]	Dias de Exposição
1	6597	4971	6271	19
2	5407	3525	6106	
3	5431	6082	6195	
4	6331	5632	5987	
5	4782	6200	6224	
6	5611	6078	5920	
7	5509	5572	5887	
8	5118	5445	6304	
9	4319	4527	6159	
10	6628	6287	6232	
Média	5573,3	5431,9	6128,5	
Desvio Padrão	759,73	874,87	148,55	
Desvio padrão da média	240,25	276,66	46,98	
% Desvio	4,31%	5,09%	0,77%	

Tabela 15: Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de um compartimento sem fonte geradora de radão.

Provetes de um só compartimento					
Nº Leituras	Soalho [Bq/m ³]	Flutuante [Bq/m ³]	Ladrilho cerâmico [Bq/m ³]	Ladrilho porcelânico [Bq/m ³]	Dias de Exposição
1	88	52	54	71	56
2	95	51	72	34	
3	112	19	25	55	
4	79	14	25	54	
5	98	20	22	42	
6	60	43	23	72	
7	80	94	36	60	
8	82	60	48	42	
9	118	70	57	54	
10	132	53	60	69	
Média	94,4	47,6	42,2	55,3	
Desvio Padrão	21,39	24,94	18,27	13,11	
Desvio padrão da média	6,76	7,89	5,78	4,14	
% Desvio	7,16%	16,57%	13,69%	7,50%	

Tabela 16: Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de um compartimento sem fonte geradora de radão.

Provetes de um só compartimento					
Nº Leituras	Tinta de água [Bq/m ³]	Tinta plástica [Bq/m ³]	Membrana [Bq/m ³]	Carpete [Bq/m ³]	Dias de Exposição
1	39	15	21	4	56
2	47	6	36	7	
3	17	1	8	3	
4	21	3	28	2	
5	38	3	25	0	
6	7	1	55	0	
7	16	34	58	15	
8	11	18	53	3	
9	23	31	19	11	
10	16	13	21	13	
Média	23,5	12,5	32,4	5,8	
Desvio Padrão	13,30	12,15	17,36	5,43	
Desvio padrão da média	4,21	3,84	5,49	1,72	
% Desvio	17,90%	30,74%	16,94%	29,62%	

Tabela 17: Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de teste.

Provetes de teste				
Nº Leituras	Radão da caixa de acrílico [Bq/m3]	Dentro do saco e dentro da caixa de acrílico [Bq/m3]	Dentro do saco [Bq/m3]	Dias de Exposição
1	14	19	6121	19
2	15	11	6176	
3	11	64	6095	
4	12	11	5987	
5	15	40	4824	
6	11	71	5920	
7	11	19	5887	
8	14	9	5304	
9	13	14	5155	
10	12	35	6232	
Média	12,8	29,3	5770,1	
Desvio Padrão	1,62	22,65	492,24	
Desvio padrão da média	0,51	7,16	155,66	
% Desvio	4,00%	24,45%	2,70%	

Foi instalado um detetor CR39, durante 132 dias, no gabinete no polo principal na Universidade da Beira Interior, com o objetivo de medir a quantidade de radão presente neste compartimento. O detetor foi colocado junto dos restantes provetes. Os valores obtidos a partir da leitura deste detetor apresentam-se na tabela 18.

Tabela 18: Dados referentes à leitura do detetor colocado no exterior.

EXTERIOR		
Nº Leituras	Valor da Leitura [Bq/m3]	Dias de Exposição
1	32	132
2	53	
3	24	
4	18	
5	20	
6	21	
7	16	
8	19	
9	18	
10	22	
Média	24,3	
Desvio Padrão	11,03	
Desvio padrão da média	3,49	
% Desvio	14,35%	

Capítulo 5

Conclusões

Depois de processar os resultados referentes às leituras dos detetores que estiveram inseridos dentro dos provetes, consegue-se chegar a algumas conclusões. Tendo em conta que as unidades em que foram feitas as leituras são as mais usuais na Europa, potencia-se os resultados para uma melhor conclusão.

Os valores da concentração de radão, medidos no interior dos provetes de ladrilho, são apresentados na figura 44.

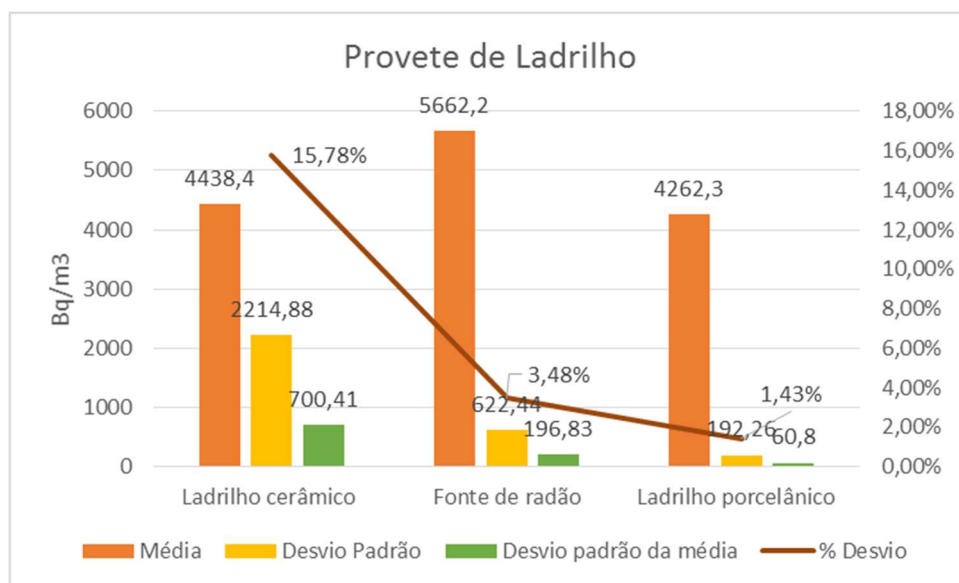


Figura 44: Quantidade de radão gerada nos provetes de ladrilho [Bq/m³].

A partir dos valores do gráfico, podemos observar que tanto o ladrilho cerâmico como o porcelânico reduziram a concentração de radão, baixando de 5662,2 Bq/m³ para no caso do ladrilho cerâmico 4438,4 Bq/m³ e no porcelânico para 4262,3 Bq/m³ sendo que o ladrilho que mais reduz a concentração de radão foi o ladrilho porcelânico mesmo que seja pouca a diferença. Assim sendo podemos concluir que o ladrilho cerâmico reduz a concentração de radão em 21,6 % e o ladrilho porcelânico reduz a concentração de radão em 24,7 %.

Os valores da concentração de radão, medidos no interior dos provetes de madeira, são apresentados na figura 45.

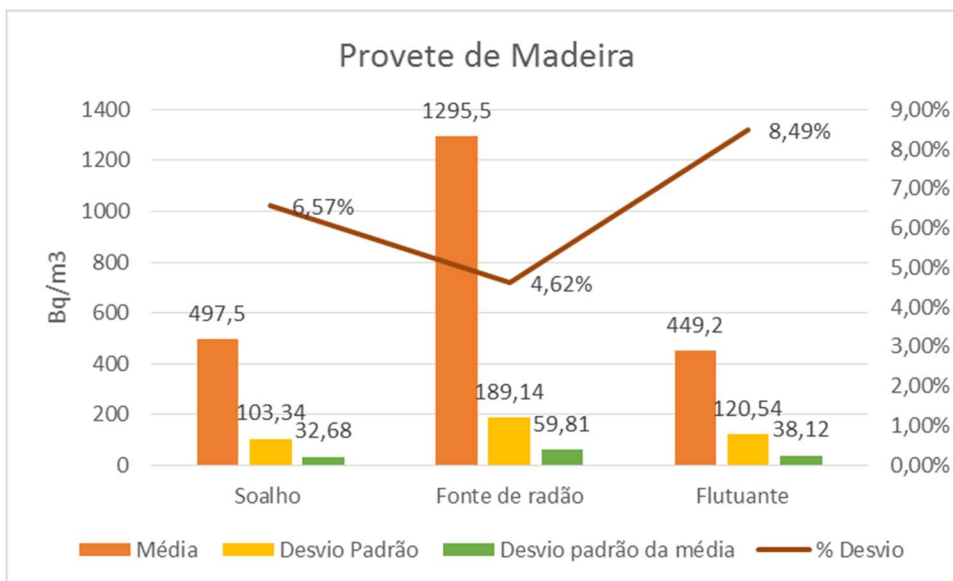


Figura 45: Quantidade de radão gerada nos provetes de madeira [Bq/m³].

A partir dos valores do gráfico, podemos observar que tanto o soalho de pinho como o flutuante laminado acrílico reduziram bastante a concentração de radão, baixando de 1295,5 Bq/m³ para no caso do soalho 497,5 Bq/m³ e no flutuante para 449,2 Bq/m³ sendo que o que mais reduz a concentração de radão foi o flutuante mesmo sendo pouca a diferença. Podemos concluir que o soalho de pinho reduz a concentração de radão em 61,6 % e o flutuante laminado acrílico reduz a concentração de radão em 65,3 %.

Os valores da concentração de radão, medidos no interior dos provetes de tinta, são apresentados na figura 46.

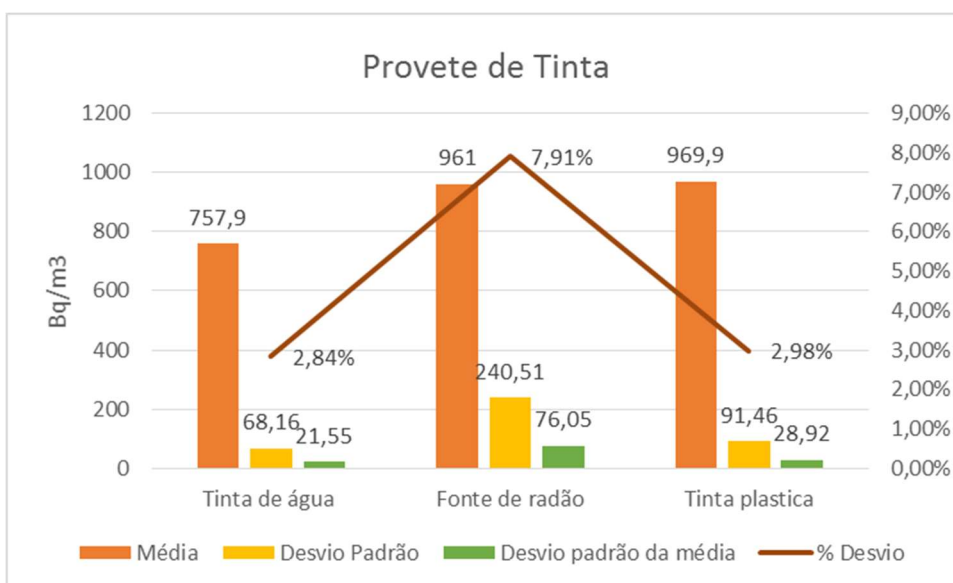


Figura 46: Quantidade de radão gerada nos provetes de tinta [Bq/m³].

Segundo os valores do gráfico, podemos reparar que a tinta de água acrílica reduz a concentração de radão, mas por sua vez a tinta plástica tipo membrana aumentou a concentração de radão. A concentração de radão baixou de 961 Bq/m³ para no caso da tinta de água para 757,9 Bq/m³ e no caso da tinta plástica subiu para 969,9 Bq/m³.

Com estes resultados podemos concluir que a tinta de água acrílica reduz a concentração de radão em 21,1 %, por sua vez a tinta plástica tipo membrana aumentou a concentração de radão em 0,9 %.

Os valores da concentração de radão, medidos no interior dos provetes de revestimentos menos utilizados, são apresentados na figura 47.

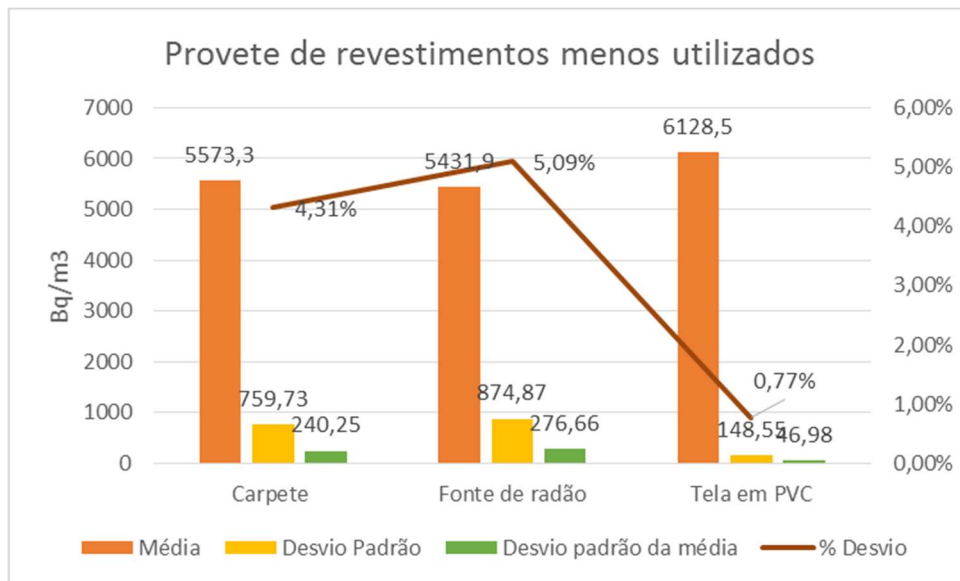


Figura 47: Quantidade de radão gerada nos provetes de revestimentos menos utilizados [Bq/m³].

A partir dos valores do gráfico, podemos observar que tanto a carpete modular como a tela de PVC aumentaram a concentração de radão, aumentando de 5431,9 Bq/m³ para no caso da carpete 5573,3 Bq/m³ e na tela para 6128,5 Bq/m³ sendo que o que mais aumentou a concentração de radão foi a tela de PVC. Podemos concluir que a carpete modular aumentou a concentração de radão em 2,6 % e a tela de PVC aumentou a concentração de radão em 12,8 %. Para nestes dois revestimentos a concentração de radão ter subido tem que haver uma explicação para este facto. Tendo em conta que a concentração de radão emitida por cada um destes materiais é muito reduzida, provavelmente será um erro de leitura sobre a variação e simplesmente estes materiais são altamente permeáveis ao radão, ou poderá ter acontecido alguma coisa durante o ensaio e passou radão [28]

Os valores da concentração de radão, medidos no interior dos provetes de um só compartimento, são apresentados na figura 48 e figura 49.

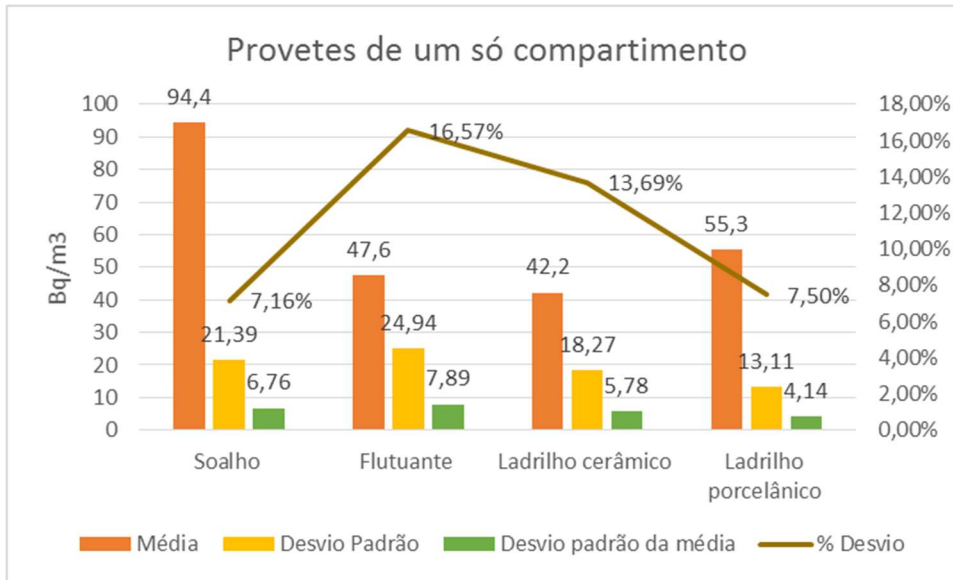


Figura 48: Quantidade de radão gerada nos provetes de um só compartimento [Bq/m³].

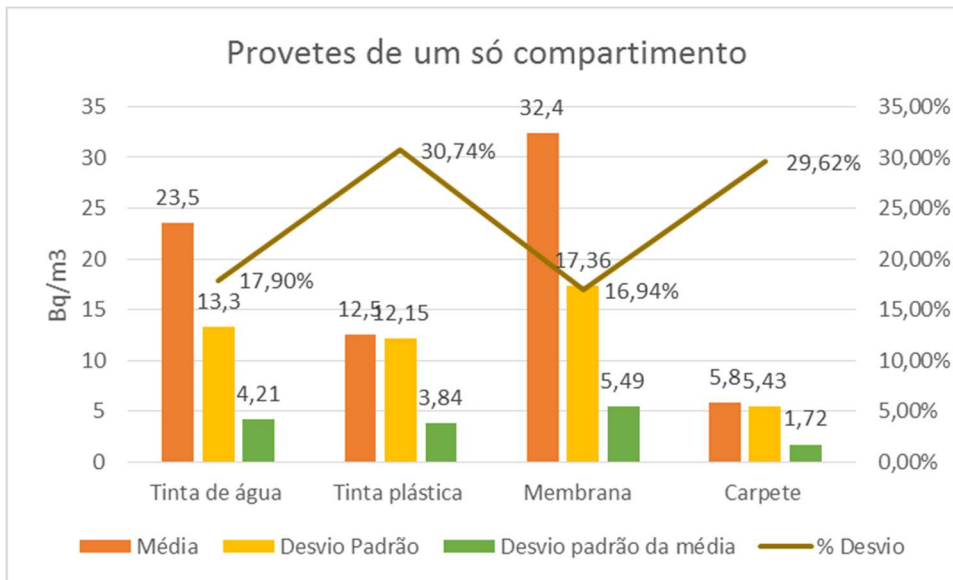


Figura 49: Quantidade de radão gerada nos provetes de um só compartimento [Bq/m³].

Os provetes de um só compartimento foram executados para examinar a produção de concentração de radão de cada material testado sem recurso a nenhuma fonte geradora de radão.

A partir dos valores do gráfico, podemos observar que os materiais testados tem uma baixa emissão de concentração de radão, sendo que o que se destaca por ter um valor mais elevado é o soalho de pinho com 94,4 Bq/m³ e o material com o valor mais baixo é a carpete modular com 5,8 Bq/m³.

Segundo os resultados obtidos, pode-se afirmar que os materiais em estudo não atingem valores significativos de radão, uma vez que o valor limite são os 400 Bq/m³, e os valores registados ficam abaixo dos 75 % do limite e a maior parte fica abaixo dos 87,5 % do limite estabelecido pela norma.

Os valores da concentração de radão, medidos no interior dos provetes de teste, são apresentados na figura 50.

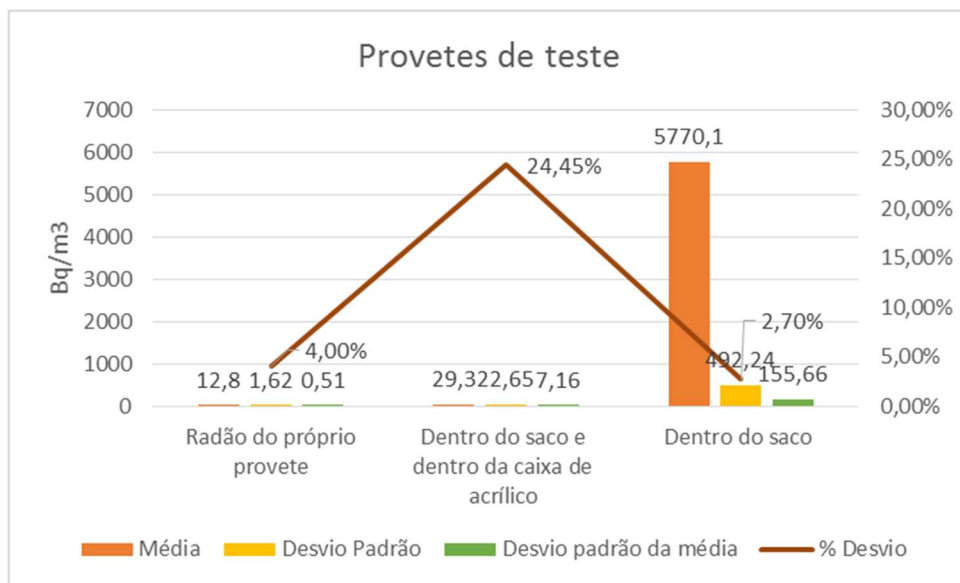


Figura 50: Quantidade de radão medido nos provetes de um só compartimento [Bq/m³].

Nos provetes de teste foi examinado a produção de concentração de radão do próprio provete de acrílico e a concentração de radão que passava para o interior do provete, passando pela caixa em acrílico.

A partir dos valores do gráfico, podemos observar que o provete tem uma muito baixa emissão de concentração de radão, que é de 18,8 Bq/m³. O provete de acrílico dentro de um saco hermético com uma fonte geradora de radão no seu interior apenas atingiu 29,3 Bq/m³ de concentração de radão. A caixa de acrílico proporcionou uma redução da concentração de radão em 99,5 %, podendo-se concluir que o acrílico é um bom material quando se quer estudar o radão num ambiente hermético evitando contaminações do ar exterior, neste sentido a experiencia foi bem controlada [28].

Conforme os resultados alcançados, podemos declarar que o acrílico dos provetes em estudo não atingem valores significativos de radão, uma vez que o valor limite são os 400 Bq/m³, e os valores registados ficam abaixo dos 87,5 % do limite estabelecido pela norma.

Em relação às tintas, o estudo por parte de Jorge Monteiro chegou há conclusão que a tinta plástica em alguns casos contribui para o aumento da concentração de radão, conclusão que chegamos também neste trabalho.

Dos revestimentos utilizados, o que reduz mais a concentração de radão foi o flutuante laminado acrílico. Este revestimento conseguiu-o reduzir em 65,3 % a concentração de radão. Revestimentos como o ladrilho cerâmico, ladrilho porcelânico, soalho de pinho, flutuante laminado acrílico e a tinta de água acrílica criam uma boa barreira contra o radão sendo benéficos para reabilitações principalmente de habitações de granito ou em zonas de risco.

Em relação á emissão que os próprios materiais estudados fazem têm valores de concentração de radão muito abaixo dos 400 Bq/m³ estipulados pela norma. Assim podemos afirmar que não existe qualquer problema em utilizar estes materiais de revestimento na construção pois não apresentam risco de saúde.

O detetor que foi colocado no exterior no laboratório perto dos provetes para estudar o valor da concentração de radão nesse espaço que era de 24,3 Bq/m³, valor que é muito abaixo do valor máximo estabelecido pela norma. É de salientar que o detetor esteve 132 dias de exposição que é uma grande amostra temporal.

Os provetes foram realizados com o objetivo de simular a entrada da concentração de radão para o interior das habitações. Percebendo os índices de concentração de radão emitidos pelos materiais e as reduções por estes causados, assim ficamos mais capacitados para proceder a melhores construções futuras especialmente em zonas de risco tais como dos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

Para continuação deste trabalho, fica a ideia de realizar provetes com ventilação forçada e não forçada, como se pode encontrar nas habitações, para averiguar as diferenças. Também se devia estudar outros tipos de revestimentos, ou estes tipos mas com composições químicas diferentes, para investigar por exemplo como se comportam outras variedades de madeiras outras marcas de tintas, ladrilhos etc...

Este estudo foi centrado na concentração de radão devido aos efeitos biológicos por longas exposições, com o intuito de ajudar a evitar concentrações elevadas de radão dentro das habitações.

Tendo em conta que em Portugal o radão é responsável por cerca de 50% da dose de radiação natural a que a população se encontra sujeita e constituiu a segunda causa de

cancro do pulmão no mundo, depois do tabaco, é um problema que se tem que dar o devido valor procurando novas formas de reduzir as concentrações de radão nos interiores das habitações como é caso deste trabalho.

Bibliografia

[1] Monteiro, Jorge Filipe Fernandes. Aplicação da Legislação 79/2006 de Qualidade do Ar Interior no que concerne ao Radão: Caso de Estudo de alguns materiais de construção correntes. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil . Covilhã 6 de Junho de 2014.

[2] Costa, Ana Cristina Silveira. A Física da Radiação no Ensino Secundário. Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em Ensino de Física e Química no 3ºCiclo do Ensino Básico e Secundário. Covilhã Junho de 2013.

[3] Soares, Paulo Jorge Ribeiro. *Determinação da Concentração de Radão num Estabelecimento de Ensino Público*. Estágio nas áreas de física e química, do Mestrado em Ensino de Física e Química no 3º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário. Covilhã Outubro de 2011.

[4] Radon, Midwest. <http://www.aair.com/Top-To-Bottom.html>. (Online) (Citação: 19 de Julho de 2015.)

[5] Pombar, Fábio Sánchez. Contribuição para o Conhecimento da Contaminação de Solos Resultante da Laboração da Indústria Extractiva Mineira. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil - Geotecnia e Ambiente. Covilhã Outubro de 2011.

[6] <http://www.tecniptool.pt/detalhes.php?qual=31>(online) (Citação: 19 de Julho de 2015.)

[7] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2006 Report, Vol II, Anexo E, (2006), (online) (Citação: 19 de Julho de 2015.)

[8] Reis, M. Capucho. *Gazeta da Física*, 30(7), (2008) (online) (Citação: 20 de Julho de 2015.)

[9] Panfleto do ITN. Disponível em: www.itn.pt/docum/relat/radao/itn_gas_radao.pps (online) (Citação: 5 de Agosto de 2015.)

[10] Matematicojorge.no.comunidades.net (online) (Citação: 30 de Julho de 2015.)

[11] [Commons.wikimedia.org/wiki/file:operation_upshot_knothole_-_badger_001](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:operation_upshot_knothole_-_badger_001) (Online) (Citação: 28 de Julho de 2015.)

[12] Laboratório de Radioactividade Natural. 2009 Novembro (online) (Citação: 24 de Agosto de 2015.)

[13] Williams, Christine E., Edwards, Carol. Measurements and Detection of Radiation. Taylor & Francis Ltd. 2nd edition, (1995). (online) (Citação: 24 de Agosto de 2015.)

[14] Merrill E. Environment Radioactivity. Third Edition ed. New York: Academic Press Inc; (online) (Citação: 26 de Agosto de 2015.)

[15] Elbern, Alwins - Radiações não-ionizantes, Curso de Eng. de Seg. do trabalho. (online) (Citação: 27 de Agosto de 2015.)

[16] Ribeiro, Catarina. Projecto para obtenção do grau de licenciado em Engenharia do Ambiente, Guarda Dezembro de 2009.

[17] Louro, Alina Rosa Coelho. Da Temática na região da Guarda à construção de um modelo microdosimétrico, Caso particular Acino pulmonar humano. Tese para obtenção do Grau de Doutor em Física. Covilhã Março de 2013.

[18] http://www.njmoldinspection.com/uranium_radiation.html (Online) (Citação: 24 de Julho de 2015.)

[19] PORTUGAL. Ministério da Saúde. Direcção-Geral da Saúde. Divisão de Saúde Ambiental Sistemas de comunicações móveis: efeitos na saúde humana. - Lisboa: DGS, 2007. - 48 p. - Texto elaborado pelo Grupo de Trabalho sobre Campos Eletromagnéticos (0 Hz - 300 GHz) da Direcção-Geral da Saúde. (online) (Citação: 29 de Agosto de 2015.)

[20] Pereira, Alcides; Neves, Luís; Pinto, Paulo - Radão em Portugal. Disponível em: www.dct.uc.pt/Irn. (online) (Citação: 05 de Setembro de 2015.)

[21] Disponível em: URL: http://www.homeprocanada.ca/radon/HP_radon.htm (online) (Citação: 05 de Setembro de 2015.)

[22] Viegas, João Carlos. <http://mestrado-reabilitacao.fu.utl.pt/disciplinas/jbastos/JViegasVentilacao.pdf>. [Online] LNEC, Maio de 2014. (online) (Citação: 07 de Setembro de 2015.)

[23] Moraes, Aline. Materiais que mais são usados em construção. <http://www.ruadireita.com/materiais-construcao/info/materiais-que-mais-sao-usados-em-construcao/>. (online) (Citação: 09 de Setembro de 2015.)

[24] Materiais de construção que são perigosos? radiação casa. <http://www.realt5000.com.ua/news/utf/pt/1171671/>. (Online) (Citação: 4 de Agosto de 2015.)

[25] Fior, Loriane. <http://www.ppgem.ct.utfpr.edu.br/dissertacoes/FIOR,%20Loriane.pdf>. Maio de 2008. (Online) (Citação: 24 de Julho de 2015.)

[26] J., Mortazavi S. M. Shiraz, Iran. Nanomaterial Containing Wall Paints Can Increase Radon Concentration in House Located in Radon Prone Areas.: s.n., 2013. University of Medical Sciences . (online) (Citação: 05 de Setembro de 2015.)

[27] Radosys. Radosys Booklets Vol. 5. 15 de Outubro de 2013. Routine operation of NanoReader. (online) (Citação: 10 de Setembro de 2015.)

[28] Pedro Almeida. Comentários. 28 de Setembro de 2015.