



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

**Aplicação da Legislação 79/2006 de Qualidade do
Ar Interior no que concerne ao Radão: Caso de
Estudo de alguns materiais de construção
correntes**

Jorge Filipe Fernandes Monteiro

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
Coorientadora: Prof. Doutora Sandra da Costa Henriques Soares

Covilhã, junho de 2014

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer toda a disponibilidade e ajuda prestada pelo meu orientador, Professor Doutor Pedro Almeida, pois sem o conhecimento por ele prestado não conseguiria realizar esta dissertação.

A minha co-orientadora, Professora Doutora Sandra Soares, agradeço a sua ajuda nos capítulos introdutórios, e por me disponibilizar o laboratório de Estudos dos Efeitos de Exposição ao Radão (LabExpoRad).

Ao Professor Doutor Luiz Oliveira quero agradecer por me disponibilizar o laboratório de Materiais de Construção, que foi indispensável para a realização deste trabalho.

Gostaria também de agradecer aos meus pais, uma vez que me apoiaram sempre e me deram a oportunidade de concluir o curso de Engenharia Civil.

Por último, quero agradecer a todas as pessoas que contribuíram com alguma ajuda nesta dissertação e às que sempre me apoiaram e estiveram comigo na realização deste projeto.

Resumo

O Decreto-Lei nº 79/2006 regulamenta os sistemas energéticos de climatização em edifícios, relativos aos materiais de construção. Este trabalho teve como principal objetivo descobrir se os materiais normalmente utilizados na construção civil, limitam ou não os valores máximos estipulados. Este Decreto-Lei, estabelece como valor máximo de radão 400 Bq/m^3 , sendo obrigatório pesquisar as suas quantidades nas zonas mais abundantes em granito, como é o caso dos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

O radão é um gás de origem natural, radioativo, em que os seus átomos se desintegram dando origem a outros elementos radiativos prejudiciais à saúde. Este gás é inodoro, incolor e insípido e, por isso os nossos sentidos não conseguem deteta-lo. O radão é proveniente do urânio e rádio presentes, com quantidades variáveis, na maior parte do solo, rochas e, conseqüentemente, em materiais de construção. As suas concentrações mais elevadas ocorrem, usualmente, em rochas graníticas (plutónicas) sendo mais baixas em rochas sedimentares como os calcários.

A parte prática deste trabalho, consistiu na medição da quantidade de radão emitida por três materiais utilizados frequentemente na construção civil, a rocha, o tijolo cerâmico e o betão. Foram fabricados doze provetes cúbicos ocos, com e sem revestimento. Os revestimentos aplicados foram a tinta de água, a tinta plástica e o estuque. No interior de cada provete foi colocado um detetor passivo CR39 sensível ao radão.

Palavras-chave

Radão, Decreto-Lei nº 79/2006, materiais de construção, radioativo, detetor passivo.

Abstract

The ordinance nº 79/2006 regulates energy and climate systems in buildings, relating to construction materials. This study aimed to find out whether the materials commonly used in construction limit or not the maximum stipulated values. This Edit establishes the maximum value of radon at 400 Bq/m^3 , being mandatory to search their quantities in the more affluent in granite areas, such as the districts of Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu and Castelo Branco.

Radon is a radioactive gas of natural origin in which its atoms disintegrate giving rise to other radioactive elements harmful to health. This gas is odorless, colorless and tasteless, so our senses can not detect it. Radon comes from uranium and radium present in varying amounts in most soil, rocks and therefore in building materials. Their highest concentrations typically occur in granitic rocks (plutonic) being lower in sedimentary rocks such as limestone.

The practical part of this work consisted in measuring the amount of radon emitted from three materials commonly used in construction, rock, clay brick and concrete. Twelve hollow cubic samples were manufactured with and without coating. The coatings applied to the samples were: water paint, plastic paint and plaster. Within each sample was placed a CR39 detector sensitive to radon.

Keywords

Radon, ordinance nº 79/2006, materials construction, radioactive, detector.

Índice

Introdução.....	1
Capítulo 1 - Fundamentos da Física das Radiações	3
1.1 Fontes naturais / Fontes artificiais	3
1.2. Radiação.....	4
1.3. Radiação não ionizante e ionizante	5
1.4. Partículas alfa	6
1.5. Partículas beta	6
1.6. Partículas gama	7
1.7. Grandezas e unidades dosimétricas	7
1.7.1. Atividade	7
1.7.2. Fluência.....	8
1.7.3. Exposição.....	8
1.7.4. Dose absorvida	9
1.7.5. Dose equivalente.....	10
Capítulo 2 - Técnicas de medição do radão e seus descendentes.....	11
2.1. Radão	11
2.2. Radão em ambiente interior	14
2.3. Medidas de mitigação do radão	16
2.4. Libertação de radão nos diferentes tipos de materiais e revestimentos	19
2.5. Detetores.....	27
2.5.1. Detetor Ramon - radon monitor 2.2	27
2.5.2. Detetor CR39	29
2.5.2.1. Processo de revelação e contagem	30
2.6. Formulação teórica de estatística	32
Capítulo 3 - Trabalho Desenvolvido.....	35
3.1. Provetes de betão	35
3.1.1. Análise Granulométrica	36
3.1.2. Aplicação do Método de Faury.....	38
3.1.3. Procedimento Laboratorial.....	48
3.2. Provetes de tijolo cerâmico	53
3.3. Provetes de rocha	56
3.4. Revestimentos utilizados nos provetes	58
3.4.1. Tinta de Água.....	58
3.4.2. Tinta Plástica	59

3.4.3. Gesso.....	60
Capítulo 4 - Resultados das medições.....	61
4.1. Ramon - radon monitor 2.2	61
4.2. CR39 61	
Capítulo 5 - Conclusões.....	67
Bibliografia.....	73

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Representação do Espectro Eletromagnético.....	5
Figura 2.1 - Imagem com os sucessivos decaimentos desde o Urânio até ao Chumbo (5).	12
Figura 2.2 - Distribuição das concentrações médias de radão em Portugal (Adaptado de Visener, 2013 em (28))......	14
Figura 2.3 - Fontes típicas para o surgimento do radão no interior dos edifícios (Adaptado de Viegas em (8)).	15
Figura 2.4 - Soluções da relação edifício/terreno para redução dos níveis de radão (Adaptado de COLLIGNAN, B., 2004, tradução do francês em (8)).	17
Figura 2.5 - 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 COLLIGNAN, B., 2004, tradução do francês em (8)).	18
Figura 2.6 - Imagem dos sistemas de ventilação passiva (interior) e ativa (exterior) (Adaptado de Midwest Radon em (29)).	19
Figura 2.7 - Localização da cidade de Pinhel no mapa de Portugal (Adaptado de Visener, 2013 em (28)).	20
Figura 2.8 - Localização da pedreira da Capinha no mapa de Portugal (Adaptado de Visener, 2013 em (28))......	21
Figura 2.9 - Concentração de ^{222}Rn por etapa construtiva das células-teste (Adaptado de Fior, 2008 em (10))......	23
Figura 2.10 - Conteúdo de ^{226}Ra para diversos materiais de construção (Adaptado de Perez em (11)).	25
Figura 2.11 - Detetor Ramon a obter resultados.	28
Figura 2.12 - Detetor CR39.	29
Figura 2.13 - Unidade NanoReader Bath (Adaptado de Radosys, 2013 em (20))......	30
Figura 2.14 - Unidade NanoReader (Adaptado de Radosys, 2013 em (20)).	32
Figura 3.1 - Agregados utilizados (Areia, Brita 1 e Brita 2).	36
Figura 3.2 - Ensaio de peneiração.	37
Figura 3.3 - Curvas Granulométrica.	38
Figura 3.4 - Estimativa do valor da razão A/C.	41
Figura 3.5 - Determinação das percentagens dos componentes sólidos (Adaptado de Nepomuceno, 1999 em (9)).	45
Figura 3.6 - Cofragem usada na betonagem.	49
Figura 3.7 - Vibração do betão.	50
Figura 3.8 - Montagem do provete de betão.	51
Figura 3.9 - Provete de betão revestido por tinta de água com o detetor no seu interior.	52
Figura 3.10 - Provete de betão selado com um detetor no seu interior.	52

Figura 3.11 - Ligação entre tijolos através de silicone.	53
Figura 3.12 - Faces de tijolo cerâmico sujeitas a forças de compressão devido à aplicação do arame.	54
Figura 3.13 - Provetes de tijolo cerâmico.	55
Figura 3.14 - Montagem dos provetes de rocha sem revestimento.	56
Figura 3.15 - Detetor no interior de provete revestido a tinta plástica.	57
Figura 3.16 - Tinta de Água.	59
Figura 3.17 - Tinta Plástica.	59
Figura 3.18 - Gesso.	60
Figura 5.1 - Quantidade de radão gerada nos provetes de betão [Bq/m ³].	67
Figura 5.2 - Quantidade de radão gerada nos provetes de tijolo cerâmico [Bq/m ³].	69
Figura 5.3 - Quantidade de radão gerada nos provetes de rocha [Bq/m ³].	70

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 - Radiação recebida pelo homem.	9
Tabela 1.2 - Dose equivalente recebida por ano através de fontes naturais e fontes artificiais.	10
Tabela 2.1 - Algumas propriedades do ^{222}Rn (COTHERN e SMITH, 1987)	12
Tabela 2.2 - Concentração de Rádio em alguns materiais de construção (Adaptado de COELHO, 2006 em (1)).	24
Tabela 2.3 - Características de vários tipos de materiais (Adaptado de vários autores da Índia, 2014 em (30)).	26
Tabela 2.4 - Especificações do detetor Ramon, modelo rádion 2.2.	28
Tabela 3.1 - Massa dos agregados.....	36
Tabela 3.2 - Resultados do ensaio de peneiração.....	37
Tabela 3.3 - Valores de λ e K.....	39
Tabela 3.4 - Desvio padrão.....	40
Tabela 3.5 - Módulos de finura dos agregados.....	44
Tabela 3.6 - Módulos de finura da mistura dos inertes.	47
Tabela 3.7 - Quantidades dos constituintes do betão.	48
Tabela 3.8 - Dados dos provetes de betão.	50
Tabela 3.9 - Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de betão.....	51
Tabela 3.10 - Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de tijolo.....	55
Tabela 3.11 - Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de rocha.	57
Tabela 3.12 - Características dos provetes.	58
Tabela 4.1 - Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de betão.	62
Tabela 4.2 - Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de tijolo.	63
Tabela 4.3 - Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de rocha.....	64
Tabela 4.4 - Dados referentes à leitura do detetor colocado no exterior.	65

Lista de Acrónimos

OMS	Organização Mundial de Saúde
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
EPA	Environmental Protection Agency
EURATOM	European Atomic Energy Community
CIMPOR	Cimentos de Portugal
ACI	American Concrete Institute
CFC	Clorofluorcarboneto

Introdução

Este trabalho tem como objetivo perceber o que implica o Decreto-Lei nº 79/2006, que regulamenta os sistemas energéticos de climatização em edifícios, em termos de materiais de construção.

O artigo 29.º do Decreto-Lei nº 79/2006 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/m^3 , 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.

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).

O desenvolvimento experimental deste trabalho consistiu na medição da quantidade de radiação emitida por três materiais utilizados na construção civil: a rocha; o tijolo cerâmico; e o betão. Foram, para isso, construídos doze provetes cúbicos, ocios, com e sem revestimento. Os revestimentos utilizados foram a tinta de água, a tinta plástica e o estuque. Os provetes de betão e tijolo cerâmico ficaram 52 dias completamente selados, de forma a impedir a entrada de ar, enquanto que os provetes de rocha ficaram selados durante 48 dias. No interior de cada provete foi colocado um detetor passivo CR39 sensível ao radão.

Capítulo 1

Fundamentos da Física das Radiações

1.1 Fontes naturais / Fontes artificiais

Normalmente associa-se a radiação a fontes artificiais, isto é, a aparelhos de raios X ou a reatores nucleares. Contudo, a radiação ambiente, natural ou produzida pelo homem, é uma realidade que não devemos ignorar. Diariamente somos expostos a diferentes tipos de radiação. Contudo, o radão é o principal contribuinte para a exposição da população às radiações ionizantes, de origem natural e artificial (1).

Em Portugal o radão contribui com cerca de 60 % para a dose média de radiação externa de origem natural, a radiação gama terrestre com 18,2 % e a radiação cósmica com 6,2 % (1).

Para além da radiação natural, existe também radiação artificial que é provocada pela ação do homem. As maiores fontes emissoras de radiação artificial são a exposição médica, raios X, correspondendo a cerca de 18% da dose média anual recebida pelo homem. Uma outra fonte de radiação artificial são as centrais nucleares, mas a dose de radiação emitida por essas fontes tem valores muito reduzidos, cerca de 0,03% da dose média anual (2).

Os riscos de contaminação radioativa surgem em acidentes nucleares devidos aos problemas de irradiação. 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 (2).

Todos os isótopos são perigosos, sejam eles de origem natural ou artificial. Contudo, a radiação se for utilizada em doses adequadas pode ser benéfica para a saúde, como é o caso da sua utilização na medicina. Um exemplo disso é o iodo (^{131}I), que é utilizado para combater doenças, nomeadamente o cancro da tiroide, uma vez que este isótopo se acumula no órgão e a sua radiação gama destrói as células afetadas pela doença (1) (2).

Quando a quantidade de radiação, a que uma pessoa é exposta, é elevada ela pode, de facto, acumular-se nos órgãos ou tecidos, daí que a sua utilização deve ser controlada por especialistas.

1.2. Radiação

Em 1896, o francês Henri Becquerel descobriu que um composto de urânio apresentava uma característica interessante. Quando próximo de uma chapa fotográfica surgia uma mancha, ocorrendo o mesmo no escuro e embrulhada em papel negro. Becquerel concluiu que o composto emitia algum tipo de radiação capaz de atravessar o papel e incidir na chapa. Esta propriedade era semelhante à do raio X, descoberta um ano antes por Wilhelm Conrad Röntgen. Becquerel percebeu que os raios provenientes do urânio ionizavam gases, ou seja, produzia íões condutores de corrente elétrica (2).

Dois anos mais tarde, em Abril 1898 Marie Curie continuou o estudo de Becquerel e descobriu que, para além do urânio, havia outro elemento que também emitia raios semelhantes, o tório. Três meses mais tarde o seu marido Pierre Curie descobriu um novo elemento que lhe chamou polónio e uns meses depois outro elemento mais radioativo ao qual atribuiu o nome de rádio (2).

O vocábulo radiação que deriva do latim *radiatĭo*, é o efeito de irradiar, isto é, a propagação de raios de luz, de calor ou de outro tipo de energia de um ponto para o outro no espaço ou em um meio material, com uma certa velocidade (2).

Desde sempre o ser humano e os outros seres vivos têm estado expostos a radiação proveniente de fontes naturais, com origem no espaço (radiação cósmica) ou em átomos radioativos existentes em todo o planeta. A Terra é composta por rochas que contêm elementos químicos com isótopos na sua constituição. A emissão de radiação ionizante por parte de rochas e solos depende do teor de urânio, tório e potássio. Apesar da concentração de potássio (cerca se 2,8%) ser maior do que a do urânio (10,7‰) e tório (2,8‰), a sua comparticipação para a dose total de radiação emitida não excede a do urânio e tório (2).

De acordo com a teoria da eletrodinâmica quântica a radiação pode comportar-se de forma corpuscular ou eletromagnética. Na corpuscular a energia propaga-se como partículas subatómicas, parte das quais têm origem em processos de desintegração nuclear (eletrões, positrões, partículas alfa, neutrinos), e as restantes são obtidas através de processos de fissão nuclear (neutrões, muões, mesões). Na forma eletromagnética a propagação da energia ocorre como onda eletromagnética (campos elétricos e magnéticos perpendiculares um ao outro), que no vácuo se propagam com a velocidade da luz ($c = 3 \times 10^8$ m/s). Alguns exemplos deste tipo de radiação são as micro-ondas, os raios X, raios beta, sinais de rádio, radiação ultravioleta, luz do sol, etc (2).

1.3. Radiação não ionizante e ionizante

Em geral, define-se radiação como toda a energia que se propaga no espaço sob a forma de ondas eletromagnéticas. A partir do resultado da sua interação com a matéria, a radiação pode classificar-se como não ionizante ou ionizante (3).

Ao conjunto de todas as formas de energia radiante do universo dá-se o nome de Espectro Eletromagnético - Figura 1.1.

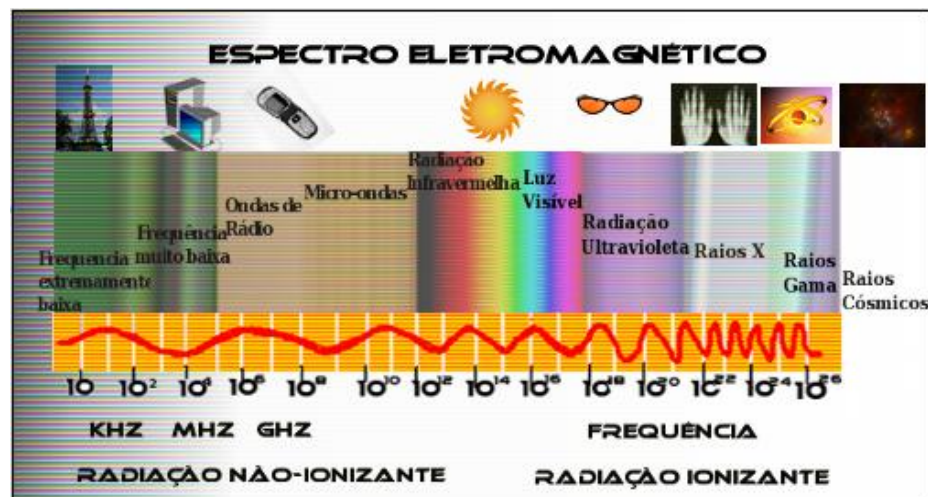


Figura 1.1 - Representação do Espectro Eletromagnético

As radiações não ionizantes não produzem ionização, ou seja, não possuem energia suficiente para provocar a emissão de elétrons dos átomos. Os raios infra-vermelhos, a luz visível, as micro-ondas e as ondas de rádio são radiações não ionizantes. Dependendo da sua intensidade este tipo de radiação pode representar alguns riscos para a saúde, que podem ser bioquímicos, ou podem induzir alterações genéticas do corpo. A penetração deste tipo de radiação no corpo humano depende da sua absorção, por parte dos diferentes tecidos, contudo ainda existem muitas dúvidas acerca dos problemas que possam causar. Sabe-se, por exemplo, que as micro-ondas podem produzir queimaduras ou danos no sistema reprodutor e os raios ultravioleta podem originar problemas nos tecidos da pele e do sistema imunitário (3).

Por outro lado, a radiação ionizante possui energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. As radiações ionizantes, ao atravessarem a matéria, transmitem a sua energia cinética aos elétrons, podendo provocar a ionização ou excitação dos átomos. A ionização pode ser direta, quando uma partícula carregada se movimenta na matéria e perde diretamente a sua energia numa ionização local, em quebras de ligações químicas ou na excitação dos átomos vizinhos. A ionização é indireta, quando a partícula neutra (fotão ou neutrão), num primeiro contacto, transfere toda, ou parte, da sua energia para as partículas carregadas (elétrons, prótons, partículas alfa ou beta).

As radiações ionizantes são prejudiciais à saúde. A exposição a grandes quantidades pode ter consequências muito graves, como é o caso de alterações genéticas importantes, perda de cabelo, queimaduras de pele e, na pior das hipóteses, pode levar à morte de um ser vivo. A contaminação pode surgir através de inalação, ingestão ou absorção dérmica, sendo a inalação o pior caso uma vez que a entrada de radionuclídeos gasosos transferem-se para o sangue através dos alvéolos pulmonares (3).

A radioatividade natural ocorre devido à transformação atômica que ocorre em alguns núcleos da matéria do Universo. Esta radioatividade chega ao nosso planeta através dos raios cósmicos provenientes do espaço exterior e também do decaimento dos elementos radioativos 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 alfa, beta, e gama que no conjunto representa cerca de 80% da dose média anual de radiação a que todos estamos expostos (7).

1.4. Partículas alfa

As partículas alfa, núcleos de Hélio ($^4\text{He}_2$), são constituídas por dois prótons e dois neutrões. Estas partículas são pesadas e pouco penetrantes, mas são altamente ionizantes. O elevado poder de ionização deve-se à baixa velocidade deste tipo de partículas, o que contribui para um tempo de interação razoavelmente grande. Em cada ionização as partículas alfa perdem alguma energia, o que provoca uma redução, repentina, da sua velocidade. São geralmente emitidas por núcleos de massa muito elevada e o objetivo é tornar o átomo mais estável. Isto acontece com frequência entre alguns elementos mais pesados que se podem encontrar na natureza, como é o caso do urânio e do rádio, que passam por decaimentos sucessivos até encontrarem uma forma estável. Quando estas partículas provêm de uma fonte externa ao organismo humano, praticamente não oferecem nenhum perigo. No caso de serem provenientes de uma fonte interna ao organismo (material radioativo pode ter sido ingerido ou absorvido pela pele), podem ser muito perigosas, uma vez que produzem mais ionizações ao longo do seu trajeto, danificando diretamente os tecidos (2).

1.5. Partículas beta

As partículas beta são constituídas por eletrões, 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 eletrões 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 elétrons 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 (2).

1.6. Partículas gama

Estas partículas não possuem carga nem massa, movem-se com velocidades próximas da velocidade da luz, sendo, por isso, extremamente penetrantes e podem atravessar vários tecidos e órgãos sem depositar energia. As partículas gama são bastante perigosas aos organismos vivos, uma vez que pode alterar o material genético de uma pessoa, fazendo com que, por exemplo, os seus filhos tenham grande possibilidade de nascer cegos, surdos, mudos ou com outro tipo de deficiência. Isto acontece porque estas partículas podem ser absorvidas pelos órgãos e não pela pele, como é o caso das partículas alfa e beta (21).

1.7. 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 (23).

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.

1.7.1. Atividade

A atividade é uma grandeza radiológica e corresponde ao número de transformações nucleares por unidade de tempo. É determinada a partir da equação 1.1.

$$A = \frac{dN}{dt} \quad (1.1)$$

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 (23).

1.7.2. Fluência

Os feixes de fótons produzidos em aceleradores lineares são caracterizados por uma distribuição de energia, $f(E)$, fluências, Φ , e fluências energéticas, ψ (21).

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

$$\Phi = \frac{dN}{dA} \quad (1.2)$$

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 $MeVcm^{-2}$ (21).

$$\psi = \frac{\overline{dE}}{dA} \quad (1.3)$$

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.

1.7.3. Exposição

A exposição representa o quociente entre a carga, dQ , devido à ionização criada pelos elétrons secundários (elétrons e pósitrons), formados no interior de um elemento com uma massa dm , por raios X ou gama, quando todos os elétrons secundários são produzidos no ar (21) (23).

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (1.4)$$

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 (21).

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 (21).

1.7.4. 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 1.5 (21).

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (1.5)$$

A dose absorvida é medida em Joules por quilograma (J/kg) ou em gray (Gy) (21).

A tabela 1.1 apresenta os valores de radiação média recebida pelo homem num ano (23).

Tabela 1.1 - 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

1.7.5. 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 (21).

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).

$$H = D \times Q \quad (1.6)$$

O fator de qualidade varia dependendo do tipo de radiação. Para elétrons, 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 (21).

Na tabela 1.2 está indicada a dose equivalente, recebida por ano através de fontes naturais e fontes artificiais (23).

Tabela 1.2 - 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

Técnicas de medição do radão e seus descendentes

A medição da radiação só pode ser realizada utilizando equipamentos capazes de captar e registar a sua presença. Este registo surge da interação da radiação com um meio sensível (detetor). Os detetores de radiação são dispositivos sensíveis à radiação ionizante, são utilizados para medir a quantidade de radiação presente num local de interesse (4).

Medir, com exatidão, a radiação emitida pelo radão dentro de uma habitação, não é um processo simples, uma vez que ela varia durante o dia e ao longo do ano. As concentrações de radão, mais elevadas, ocorrem durante os períodos em que as habitações estão fechadas, ou seja, nos períodos em que não existe ventilação. Este trabalho tem como objetivo, analisar a possibilidade de emissão de radiação de diferentes materiais utilizados na construção (4).

A escolha do tipo de detetor está relacionada com o tipo de radiação e com o tempo previsto para a análise. Os dispositivos mais utilizados nas habitações para a medição do radão e dos seus descendentes, são os detetores plásticos de estado sólido, os detetores de carvão ativado e as câmaras de ionização. Neste trabalho foram utilizados os detetores CR39 e o Ramon 2.2. (4).

2.1. 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 (5).

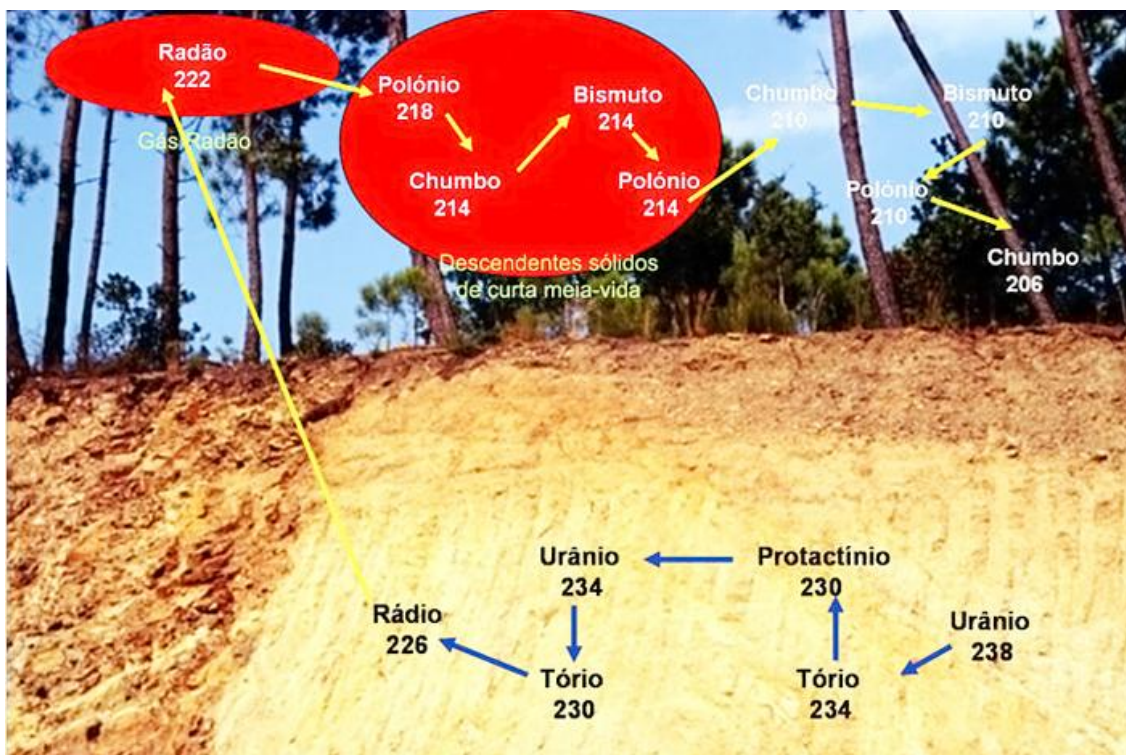


Figura 2.1 - Imagem com os sucessivos decaimentos desde o Urânio até ao Chumbo (5).

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 2.1 (3) (2).

Tabela 2.1 - Algumas propriedades do ^{222}Rn (COTHERN e SMITH, 1987)

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

O radão (^{222}Rn), o torão (^{220}Rn) e o actinão (^{219}Rn), 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 (^{235}U) em relação ao urânio natural (somente 0,711%), faz com que a presença do actinão seja desprezável. O isótopo torão tem uma semi-vida com cerca de 56 segundos, que é muito inferior à do radão, cerca de 3,8 dias. No entanto, como o tório (^{232}Th) existe em maiores quantidades relativamente ao urânio (^{238}U), a presença destes dois isótopos de radão no solo é similar. Contudo o isótopo predominante no radão da atmosfera é o ^{222}Rn , a sua grande vantagem é a mobilidade, uma vez que é o único gás das séries de decaimento natural (3) (2).

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 2.1), principalmente o polónio (^{218}Po e ^{214}Po) 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 (5) (6).

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 $150 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ 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 (5) (6).

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 $400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ para uma média anual de concentrações de radão no ambiente interior de habitações já construídas, e de $200 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ para novas habitações. Em Portugal a recomendação que vigora é o Decreto-Lei n.º 79/2006, desde o dia 4 de Abril, 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. A figura 2.2 apresenta a distribuição das concentrações médias de radão em Portugal (5) (6).

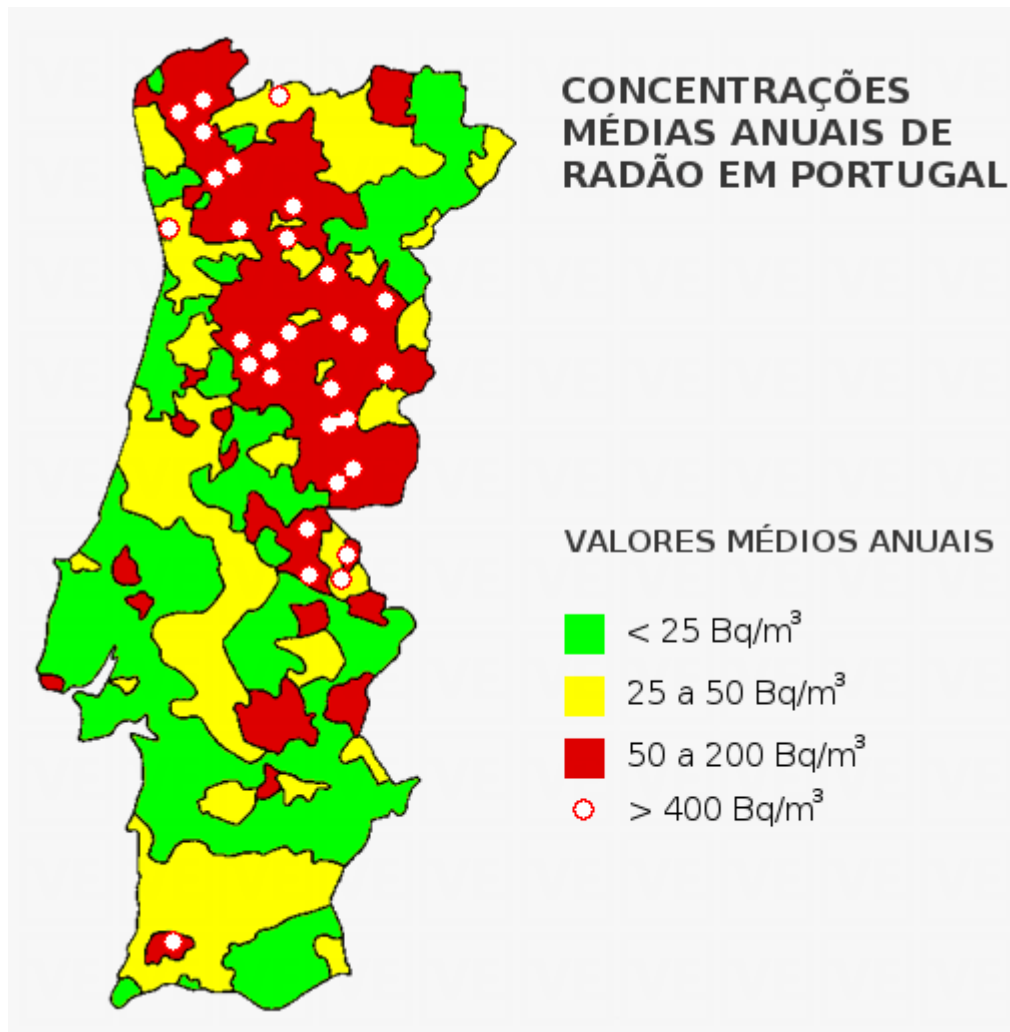


Figura 2.2 - Distribuição das concentrações médias de radão em Portugal (Adaptado de Visener, 2013 em (28)).

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 2.3). 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 (7).

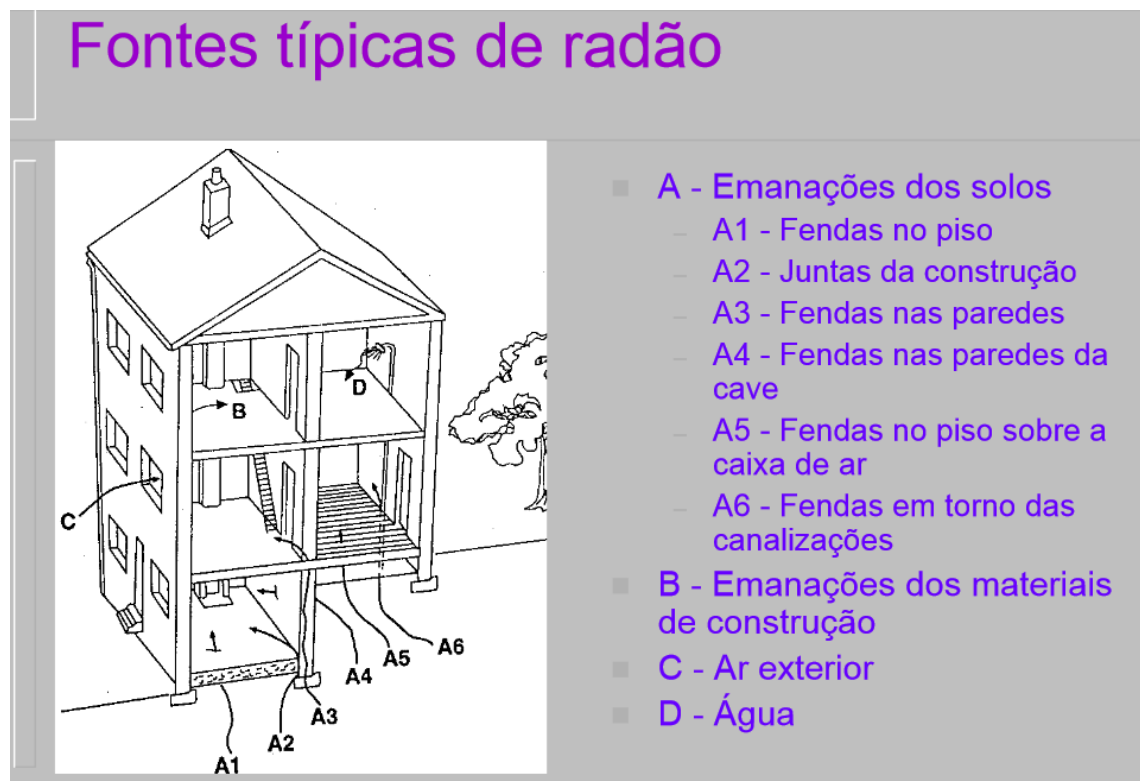


Figura 2.3 - Fontes típicas para o surgimento do radão no interior dos edifícios (Adaptado de Viegas em (8)).

3.3. Medidas de mitigação do radão

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 (8).

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 2.4 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 (8).

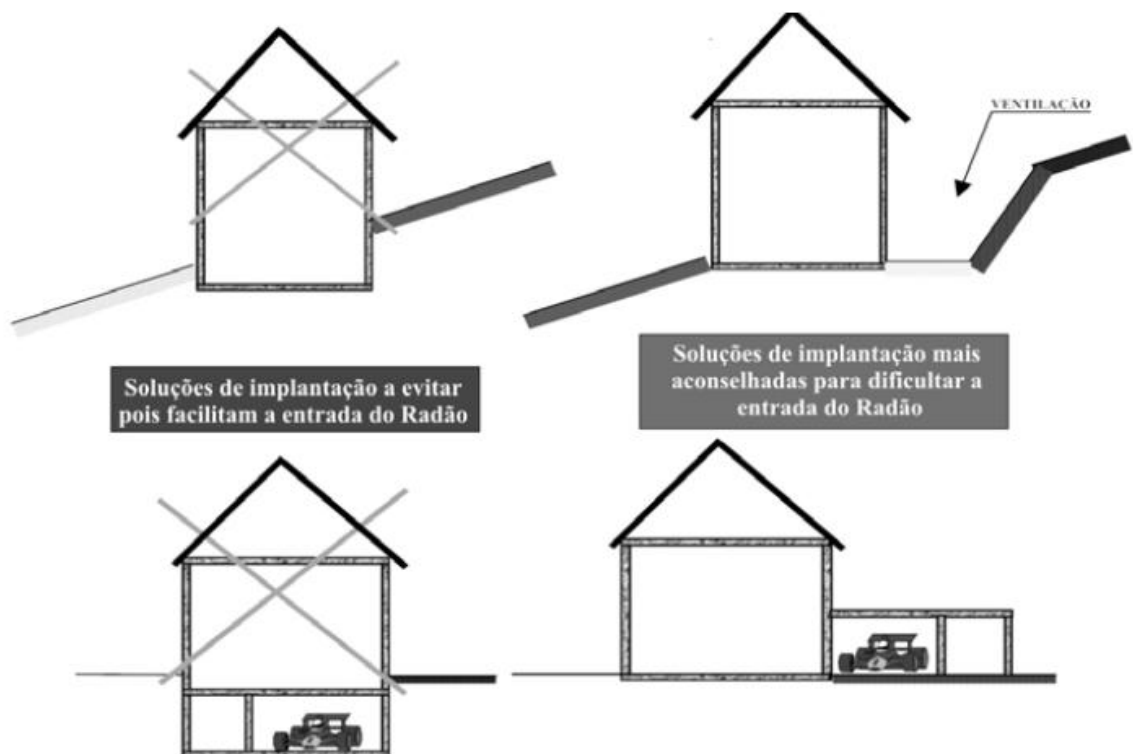


Figura 2.4 - Soluções da relação edifício/terreno para redução dos níveis de radão (Adaptado de COLLIGNAN, B.,, 2004, tradução do francês em (8)).

Na figura 2.5 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 (8).

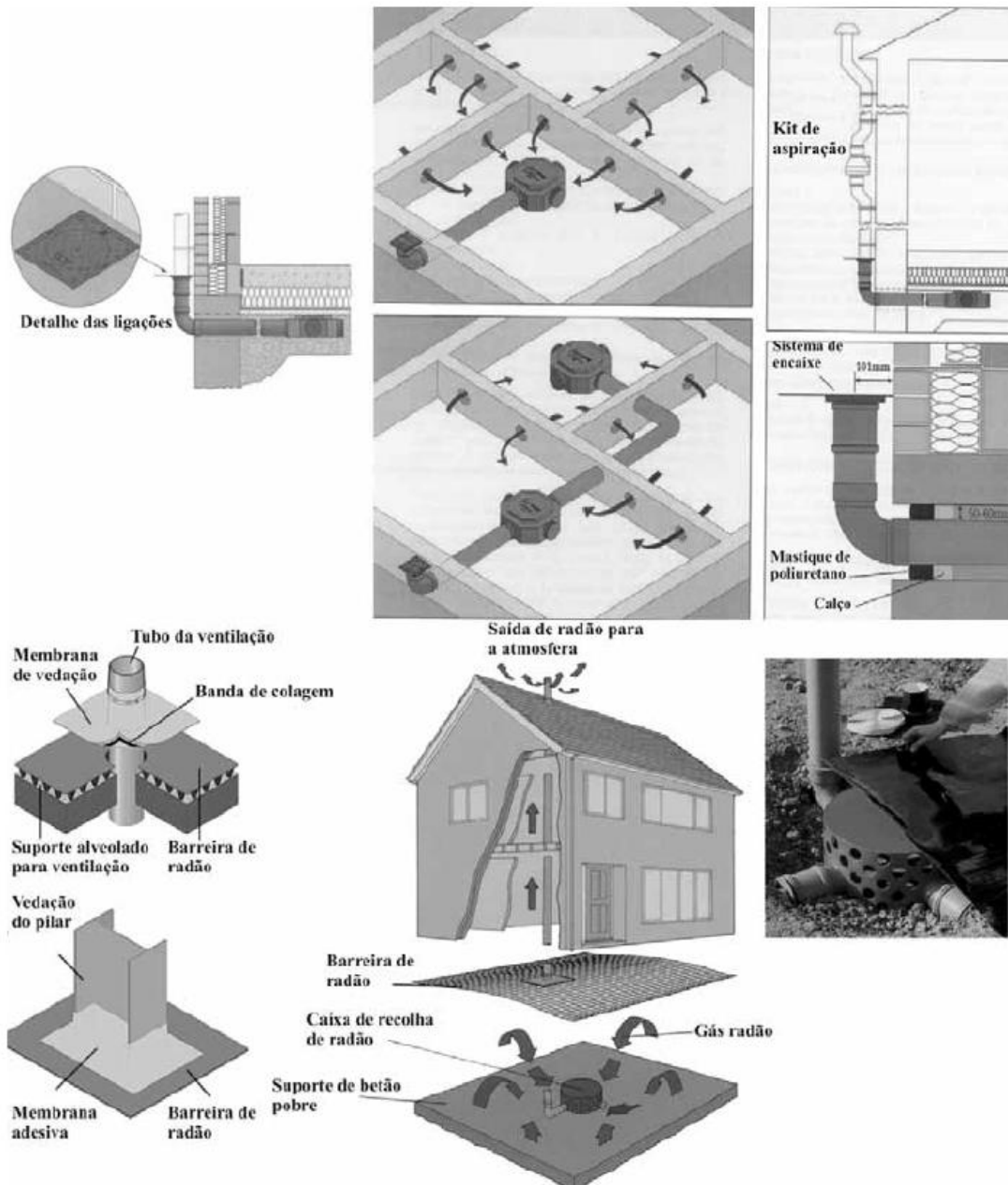


Figura 2.5 - Esquema da drenagem de radão a instalar na parte inferior do piso térreo. Sistema de ventilação por tiragem natural ou com ajuda de um ventilador para criar a depressão necessária (Adaptado de COLLIGNAN, B., 2004, tradução do francês em (8)).

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 2.6) (8).

O custo destas instalações, quando previstas em projeto, é reduzido, sendo facilmente enquadrável no orçamento total da obra, com a finalidade de obter imensas vantagens em termos de saúde para futuros utentes dos edifícios (8).

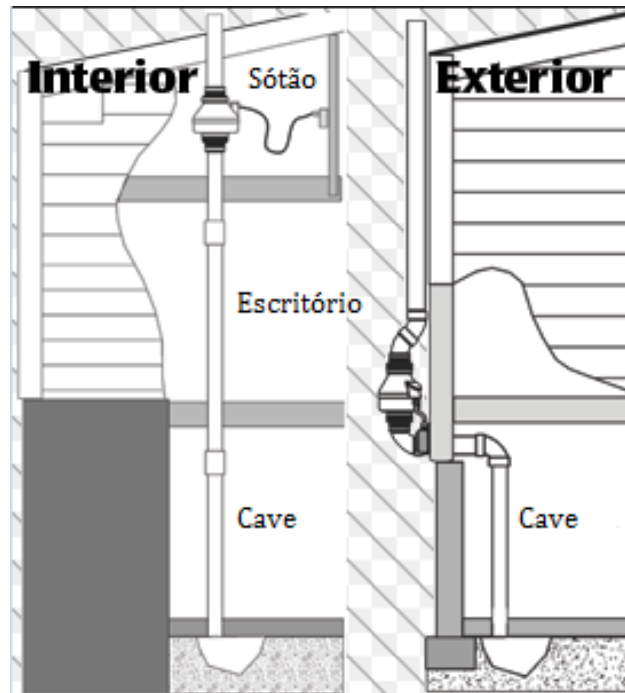


Figura 2.6 - Imagem dos sistemas de ventilação passiva (interior) e ativa (exterior) (Adaptado de Midwest Radon em (29)).

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 no que respeita ao radão. Para obter um ambiente fechado, limitado por materiais de utilização regular na construção em Portugal, e particularmente na região foram realizados doze provetes. Estes provetes foram construídos com os materiais mais utilizados na realização de elementos construtivos.

Uma vez que o radão surge após alguns decaimentos de elementos metálicos (urânio, tório e rádio) que estão presentes essencialmente em rochas graníticas, optou-se por fazer provetes de granito para verificar se estes emitem um número considerável de radiação. Outra das

razões para se construir provetes deste material foi o fato de o granito ser um material bastante utilizado na construção de habitações em Portugal, nomeadamente na região da Covilhã.

O granito é uma rocha ígnea que se forma quando o magma arrefece lentamente sob a superfície da terra, formando facilmente cristais visíveis de quartzo, feldspato e mica. O granito utilizado pode classificar-se como cinza, foi adquirido na empresa Rio Mármore, situada em Vales do Rio, concelho da Covilhã e extraído na cidade de Pinhel (figura 2.7) que pertence ao distrito da Guarda, uma das zonas com maiores concentrações de radão a nível nacional.

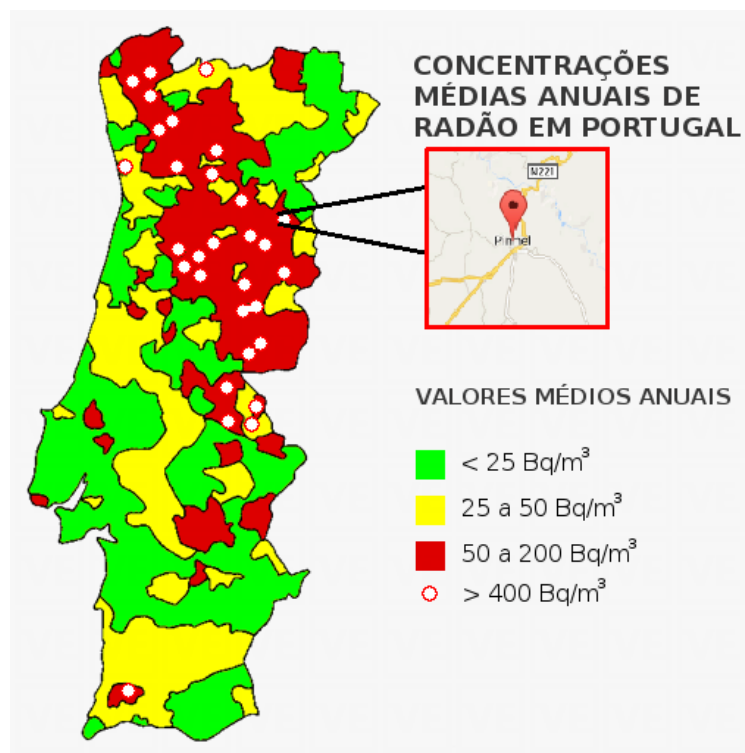


Figura 2.7 - Localização da cidade de Pinhel no mapa de Portugal (Adaptado de Visener, 2013 em (28)).

Como existem também habitações em que os seus elementos construtivos são feitos em betão armado, realizaram-se provetes feitos apenas em betão, procurando saber a quantidade de radiação emitida por este material. O valor desta radiação emitida pode variar mediante os agregados utilizados no betão, uma vez que as concentrações mais elevadas ocorrem, usualmente, em agregados provenientes de rochas graníticas (plutónicas) sendo mais baixas em agregados vindos de rochas sedimentares como os calcários (31).

As britas utilizadas na constituição do betão são oriundas da pedra da Capinha (figura 2.8) que é explorada pela empresa Agrepor Agregados, localizada na cidade do Fundão. A areia utilizada neste trabalho foi uma areia natural rolada de grão intermédio, oriunda do rio Tejo, e foi adquirida na empresa Beira Bloco situada também na cidade do Fundão. O cimento utilizado foi o Portland de calcário Cem II/B-L Classe 32,5 N, que é fabricado pela empresa CIMPOR - Indústria de Cimentos, S.A.. A água utilizada na mistura do betão foi a água potável das redes de abastecimento público.

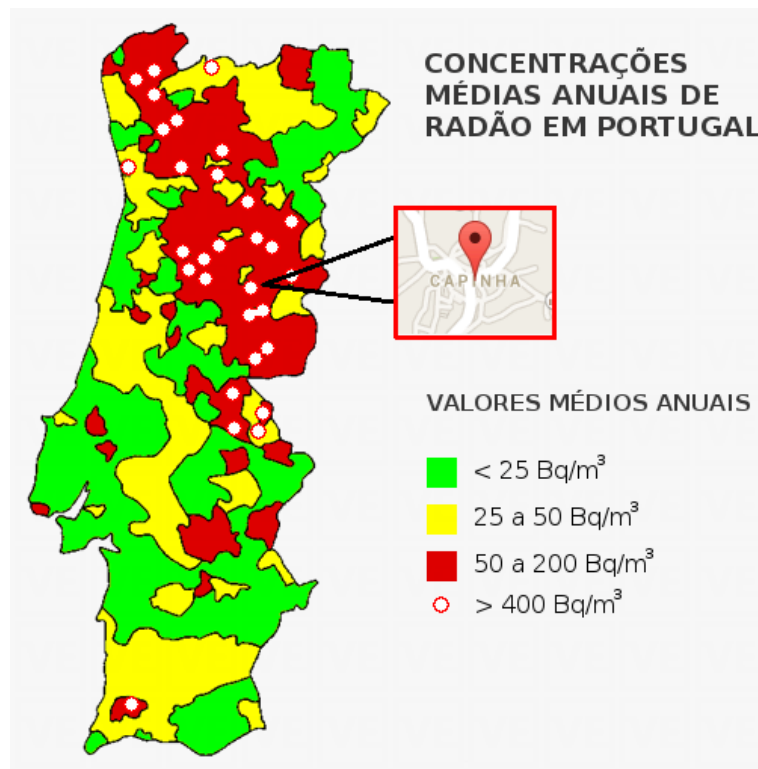


Figura 2.8 - Localização da pedra da Capinha no mapa de Portugal (Adaptado de Visener, 2013 em (28)).

Por outro lado a maior parte das habitações são feitas através da construção tradicional, isto é, têm na sua constituição paredes de alvenaria, por isso procurou-se estudar a radiação emitida pelos tijolos cerâmicos, realizando provetes feitos a partir deste tipo de material. Os tijolos cerâmicos utilizados neste trabalho laboratorial apresentam as dimensões 30x20x7 [cm]. Estes tijolos foram fabricados na empresa PRECERAM, localizada em Pombal e foram adquiridos na empresa Fernandes & Fernandes SA, situada na zona industrial do Canhoso, na Covilhã.

Quando se pensa em construir uma habitação seleccionam-se os materiais que garantem mais qualidade e maior durabilidade, mas as emissões radioativas não são, em geral, ponderadas.

Estudos comprovam que a dose derivada dos materiais de construção pode chegar a 60% da dose total radiação recebida pelo homem. Isto acontece porque grande parte dos materiais de construção contêm urânio 238, tório 232, potássio 40, entre outros. Um dos materiais bastante utilizado na construção é a madeira. Neste trabalho não se incluiu este material uma vez que o radão acumula-se muito menos nas habitações de madeira do que nas habitações construídas a partir de outros materiais (15) (16).

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 alta dose efetiva emitida pelos isótopos naturais. Se os materiais forem compostos por esses isótopos terão o índice de concentração de atividade maior que o nível de radiação (10).

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 oriundo do solo, rochas, materiais de construção e do radão libertado pela água (10).

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. Podem ser considerados outros isótopos em casos especiais (10).

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 (10).

O índice de concentração de atividade nos materiais de construção é determinado segundo a equação 2.1, 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 (10).

$$I = \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_K}{3000} \quad (2.1)$$

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 (10). Para se fazer uma comparação no capítulo relativo às conclusões, enumera-se aqui alguns resultados já estudados relativos aos mesmos materiais utilizados neste trabalho experimental.

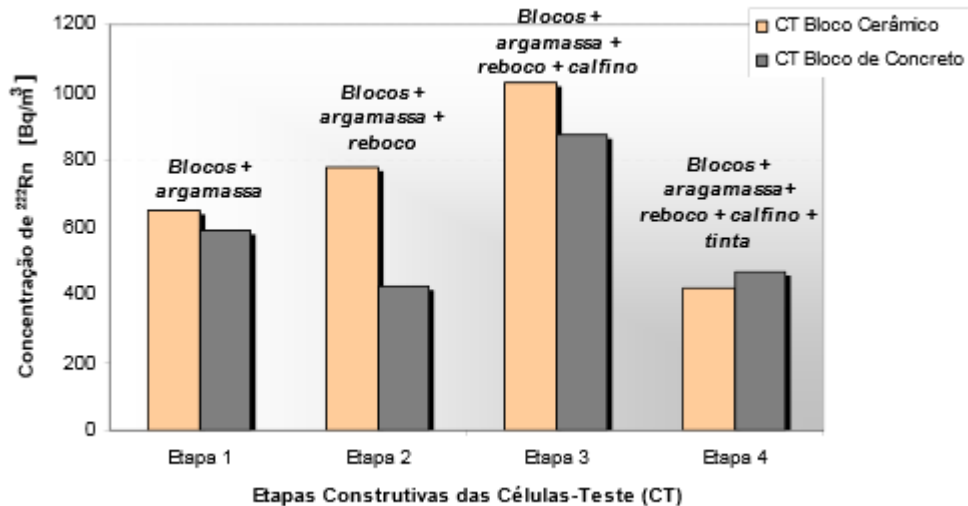


Figura 2.9 - Concentração de ^{222}Rn por etapa construtiva das células-teste (Adaptado de Fior, 2008 em (10)).

A figura 2.9 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 2.2 apresenta as conclusões de Coelho (1):

Tabela 2.2 - Concentração de Rádio em alguns materiais de construção (Adaptado de COELHO, 2006 em (1)).

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

Neste trabalho os materiais utilizados foram o betão, o tijolo e o granito. Segundo as conclusões apresentadas o material que emite mais concentração de rádio é o granito, de seguida é o tijolo e por fim o betão (1).

Por outro lado, a maioria dos revestimentos utilizados nas construções provém de materiais existentes na crosta terrestre, que são, em maior ou menor grau, radioativos dependendo da sua natureza e procedência. A Figura 2.10 apresenta doses típicas de radiação encontradas em diversos revestimentos (11).

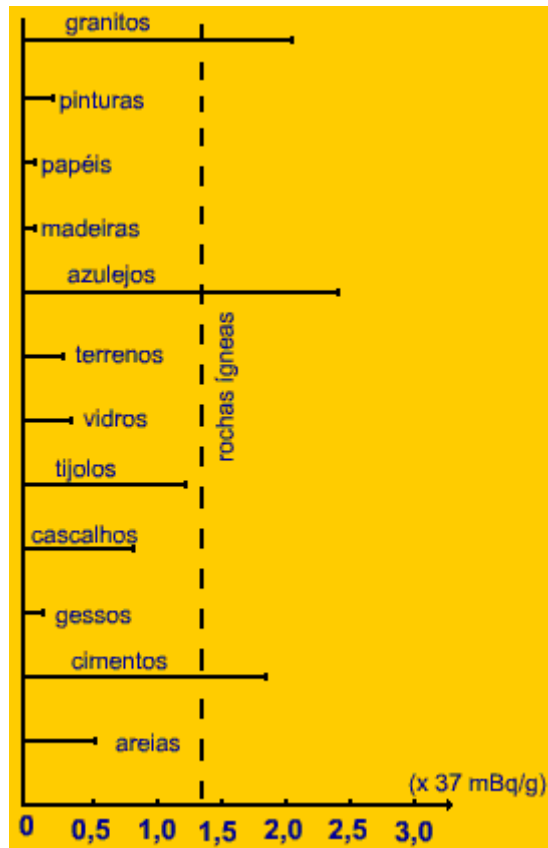


Figura 2.10 - Conteúdo de ^{226}Ra para diversos materiais de construção (Adaptado de Perez em (11)).

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 construiu duas casas modelo cuja estrutura era constituída por madeira. Aplicou vários 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 $590,9 \pm 49 \text{ Bq/m}^3$ (14).

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) .

Tabela 2.3 - Características de vários tipos de materiais (Adaptado de vários autores da Índia, 2014 em (30).

Tipos / Cores das pinturas	Radão [Bq/m ³]
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 2.3 estão também indicados valores de concentração de radão obtidos com tintas de outras cores.

Com base nas conclusões dos 4 autores, verifica-se que o granito é quem emite mais radiação, seguidamente o tijolo e por fim o betão. Conclui-se ainda que a quantidade de radiação emitida pelo betão pode variar mediante a origem e tipo de agregados que o constituem, pelo que, no caso de este conter britas de calcário ou xisto, os valores serão diferentes.

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 que 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.

2.5. Detetores

As radiações ionizantes não podem ser medidas diretamente, a sua deteção é conseguida analisando o resultado produzido da interação da radiação com um meio sensível (detetor).

Importa destacar dois tipos de detetores, ativos e passivos. O detetor ativo tem como função realizar medições instantâneas de concentrações de radão ou descendentes do ar em intervalos de tempo curtos, normalmente minutos. A amostra de ar recolhida, é seguidamente tratada num aparelho de deteção de radiação onde se consegue medir separadamente o ^{222}Rn dos seus descendentes. Para isso recorre-se ao uso de filtros, campos electrostáticos negativos ou simplesmente deixar a amostra de ar durante 3 horas para que a maior parte dos descendentes do radão que ingressaram no volume de deteção decaia radioativamente para se conseguir medir separadamente 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 (3).

O detetor passivo faz as medições no ambiente que queremos analisar, durante um determinado período de tempo, que pode variar dependendo do tipo de detetor. Neste tipo de detetores o isótopo ^{222}Rn é detetado através dos traços formados pelas partículas alfa nos detetores. Após 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 determinada área tem como resultado um valor que se relaciona com a exposição acumulada, realizando a concentração média do período de exposição (3).

2.5.1. Detetor Ramon - radon monitor 2.2

Para a realização das medições neste trabalho utilizou-se o detetor Ramon, modelo radon monitor 2.2, da empresa Alemã PTB-Braunschweig. Na tabela 2.4 são apresentadas algumas especificações técnicas do aparelho. Este detetor mede a concentração do gás radão em ambientes interiores de edifícios e habitações de uma forma muito simples. Fixa-se o aparelho no compartimento onde se pretende determinar a concentração de radão, de preferência um local de maior permanência, por exemplo no quarto ou na sala de estar. As leituras são atualizadas de hora a hora, indicando o valor médio. Não permite discriminar as variações diárias ou sazonais, quanto mais tempo este detetor ficar exposto maior será a exatidão dos resultados. Tem a vantagem de não necessitar de nenhum software para ler os dados, uma vez que as suas leituras são indicadas no monitor incorporado no aparelho.

O Ramon 2.2 é envolvido por uma caixa de plástico chamada célula de medição, que no seu interior contém um detetor de silício sensível apenas a radiação alfa. O gás radão proveniente

do ambiente entra na célula de medição através de umas pequenas aberturas que estão protegidas por um filtro de forma a não entrarem poeiras ou outro tipo de partículas radioativas. Quando as partículas de radão entram na célula de medição vão sofrer decaimento radioativo emitindo assim as partículas alfa que, ao colidirem com o sensor produzem um sinal que é contabilizado e apresentado no ecrã.

Este detetor foi colocado no laboratório de Materiais de Construção, com o objetivo de medir os níveis de radão e comparar com os resultados obtidos com um detetor passivo CR39 colocado no mesmo compartimento.



Figura 2.11 - Detetor Ramon a obter resultados.

Tabela 2.4 - Especificações do detetor Ramon, modelo radon 2.2.

Descrição	Valores
Entrada de corrente (V)	18
Consumo de energia (Watt)	Máx. 2
Sensor	Silício
Medição	Bq/m ³
Temperatura ambiente	5 °C até 35 °C

2.5.2. 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 (4).

Os detetores de traço 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 (4).



Figura 2.12 - Detetor CR39.

3.5.2.1. Processo de revelação e contagem

Para revelar os detetores CR39 é utilizada uma solução de hidróxido de sódio (NaOH), 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 (12).

Após a ligação do aparelho NanoReader Bath (figura 2.13), espera-se cerca de 25 segundos e coloca-se 200 ml da solução de NaOH no seu interior. É necessário um tempo de espera de cerca de 30 minutos para 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 (12) (20).



Figura 2.13 - Unidade NanoReader Bath (Adaptado de Radosys, 2013 em (20)).

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 (13).

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

$$V_b = \frac{h}{t} \quad (2.2)$$

$$V_t = \frac{l}{t} \quad (2.3)$$

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, (CH_3COOH). Esta solução é colocada num gobelé, onde é mergulhado o suporte com os detetores cerca de 10 minutos (20).

Para a completa limpeza dos detetores de forma a ser possível a sua leitura no equipamento apropriado realiza-se ainda um banho de lavagem final, que consiste em colocar os detetores mergulhados dentro de um gobelé, com cerca de 200 ml de água destilada, durante 10 minutos (20).

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 (13).

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. Na figura 2.14 pode observar-se as principais funcionalidades do microscópio NanoReader (20).

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

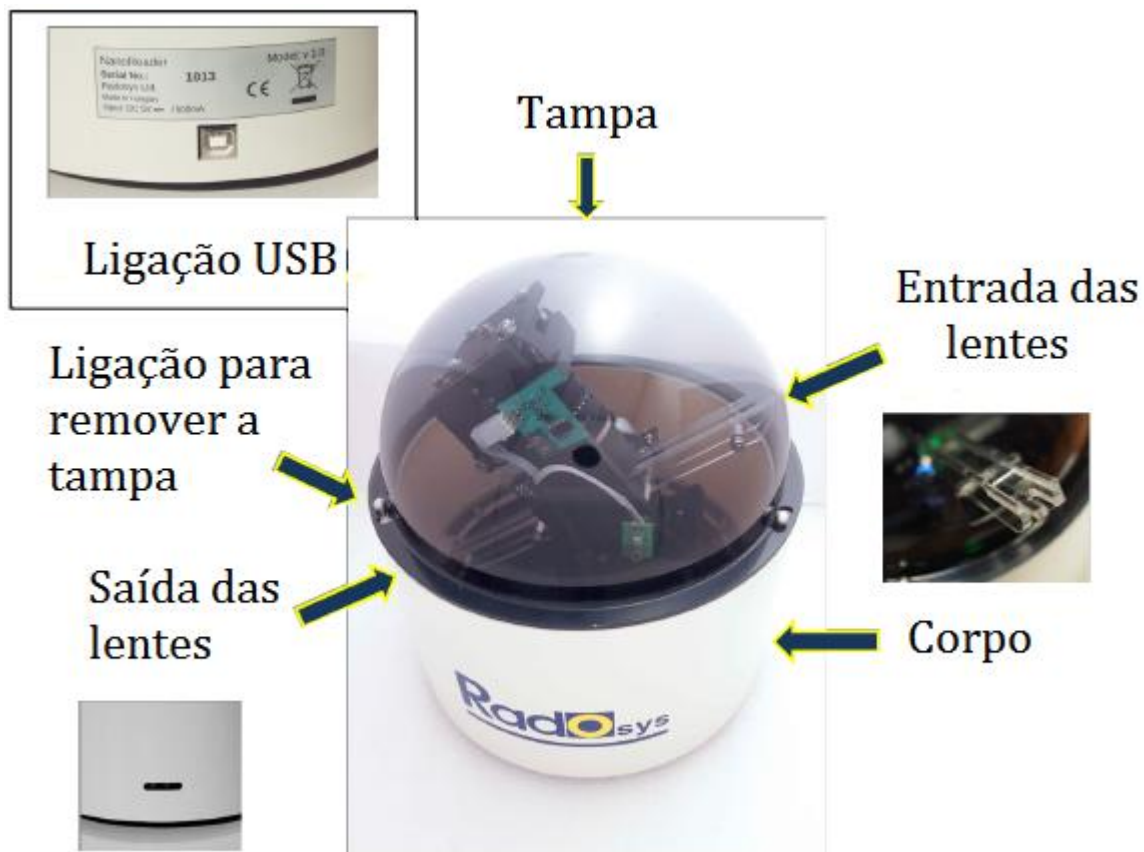


Figura 2.14 - Unidade NanoReader (Adaptado de Radosys, 2013 em (20)).

Para obter os resultados finais, após as duas leituras efetuadas em cada lente ótica, 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/m^3 .

2.6. Formulação teórica de estatística

A informação contida em cada detetor foi 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 2.4, em que, X , representa o valor de cada leitura e, n , é o número total de leituras (25).

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.4)$$

O desvio padrão mostra a quantidade de variação que existe em relação à média. Esta quantidade é determinada a partir da equação 2.5, 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 (26).

$$\bar{X} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.5)$$

O desvio padrão da média representa o valor da incerteza da medição. Este valor é dado pela equação 2.6, onde, s , representa o valor do desvio padrão e, n , refere-se ao número de amostras (27).

$$s_m = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (2.6)$$

O desvio médio percentual refere o valor de variação da média em relação ao desvio padrão da média. Este fator é dado pela equação 2.7.

$$s\% = \frac{\bar{X}}{s_m} \quad (2.7)$$

Capítulo 3

Trabalho Desenvolvido

Como já foi referido anteriormente, foram realizados doze provetes, quatro compostos por rocha, quatro de betão e quatro de tijolo cerâmico. Para cada tipo de material foram estudados três tipos de revestimento, neste caso os mais comuns, tinta de água, tinta plástica e estuque, sendo que um provete de cada tipo de material não foi revestido para se determinar uma componente da radiação proveniente do radão emitida apenas pelo material (32).

Poder-se-ia ter estudado mais materiais, ou ter estudado outros tipos de revestimentos, isto não foi feito porque merecem ser objeto de um estudo mais detalhado.

3.1. Provetes de betão

O betão é o material mais utilizado na construção civil, composto por uma mistura de agregados, areia, cimento e água, além de outros materiais como é o caso de aditivos ou adições.

Para a realização dos provetes de betão foi necessário determinar a quantidade individual dos vários constituintes do betão. O método adotado para este cálculo foi o método de Faury, uma vez que é um método simples de determinar, usado regularmente na construção civil e foi lecionado na disciplina de Materiais de Construção II. Para aplicar este método foi necessário saber a dimensão máxima dos agregados utilizados na mistura do betão. Esta dimensão foi determinada a partir de um ensaio de análise granulométrica. Sabendo a dimensão máxima dos agregados procedeu-se à determinação das quantidades dos inertes a partir do método de Faury (9).

3.1.1. Análise Granulométrica

Foi realizado um ensaio laboratorial com o objetivo de fazer uma caracterização granulométrica dos agregados utilizados na constituição do betão, areia, brita 1 e brita 2. Este processo visa definir a percentagem em peso que cada fração possui, em relação à massa total da amostra em análise, assim como avaliar a distribuição percentual da dimensão das partículas na totalidade de cada amostra.

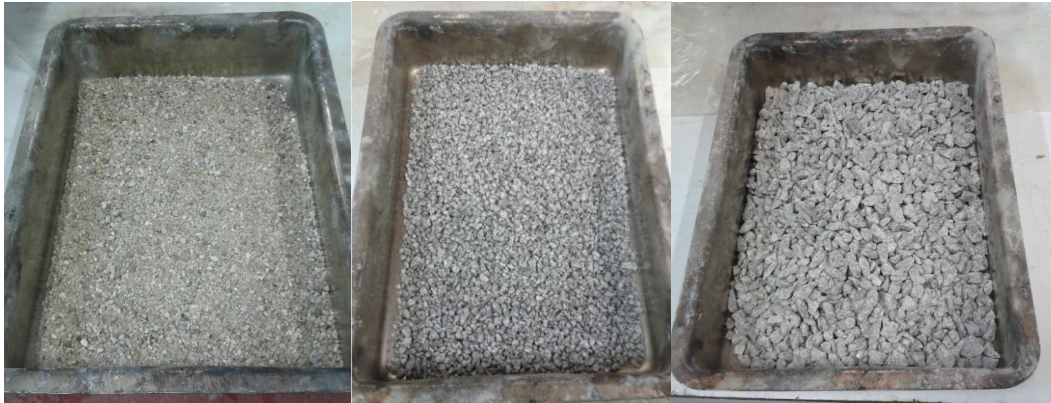


Figura 3.1 - Agregados utilizados (Areia, Brita 1 e Brita 2).

O procedimento experimental é realizado segundo a norma portuguesa EN 933-1 que se refere à análise granulométrica dos agregados através do método da peneiração, que nos seus aspetos fundamentais cumpre os requisitos apresentados na ENV 1997-2 (*Eurocódigo 7: Projeto geotécnico - Parte 2: Projeto assistido por ensaios laboratoriais*) (17).

Inicia-se o processo com a pesagem individualmente de cada agregado, apresentado na tabela 3.1. Esta quantidade é colocada na malha de peneiros, que através de um meio mecânico (figura 3.2) é sujeita ao ensaio. Este ensaio teve a duração sensivelmente de 5 minutos. Após o ensaio pesa-se individualmente cada peneiro registando o seu valor. Os valores registados encontram-se na tabela 3.2.

Tabela 3.1 - Massa dos agregados.

	Massa [g]
Areia	840,9
Brita 1	1014
Brita 2	1672,3



Figura 3.2 - Ensaio de peneiração.

Tabela 3.2 - Resultados do ensaio de peneiração.

Peneiros [mm]	AREIA		BRITA 1		BRITA 2	
	Massa Retida [g]	% Retida	Massa Retida [g]	% Retida	Massa Retida [g]	% Retida
125	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	11,30	0,68
14	0,00	0,00	0,00	0,00	31,00	1,85
12,5	0,00	0,00	0,00	0,00	62,80	3,76
10	0,00	0,00	0,00	0,00	522,60	31,25
8	0,00	0,00	0,00	0,00	501,10	29,96
4	21,00	2,50	592,80	58,46	518,60	31,01
2	266,50	31,69	393,30	38,79	13,80	0,83
1,6	105,80	12,58	8,30	0,82	1,10	0,07
1	182,90	21,75	6,30	0,62	0,50	0,03
0,5	158,60	18,86	2,70	0,27	0,30	0,02
0,25	70,70	8,41	0,90	0,09	0,10	0,01
0,125	21,90	2,60	0,50	0,05	0,50	0,03
0,063	6,00	0,71	0,60	0,06	0,80	0,05
0,045	1,80	0,21	0,70	0,07	0,40	0,02
<0,045	1,70	0,20	0,80	0,08	1,40	0,08

A partir dos resultados obtidos é possível desenhar a curva granulométrica de cada agregado, onde se relaciona a porcentagem de material que passa em cada peneiro com o diâmetro das partículas. Estes resultados estão apresentados na figura 3.3.

Importa destacar que no ensaio de peneiração da areia a maior parte das partículas ficou retida no peneiro de 2 mm, cerca de 32 % da massa total usada no ensaio. No ensaio referente à Brita 1, praticamente toda a massa ficou retida nos peneiros de 4 e 2 mm perfazendo um total de 97 %. No ensaio de peneiração da Brita 2 cerca de 92 % da massa total utilizada ficou retida nos peneiros de 10, 8 e 4 mm.

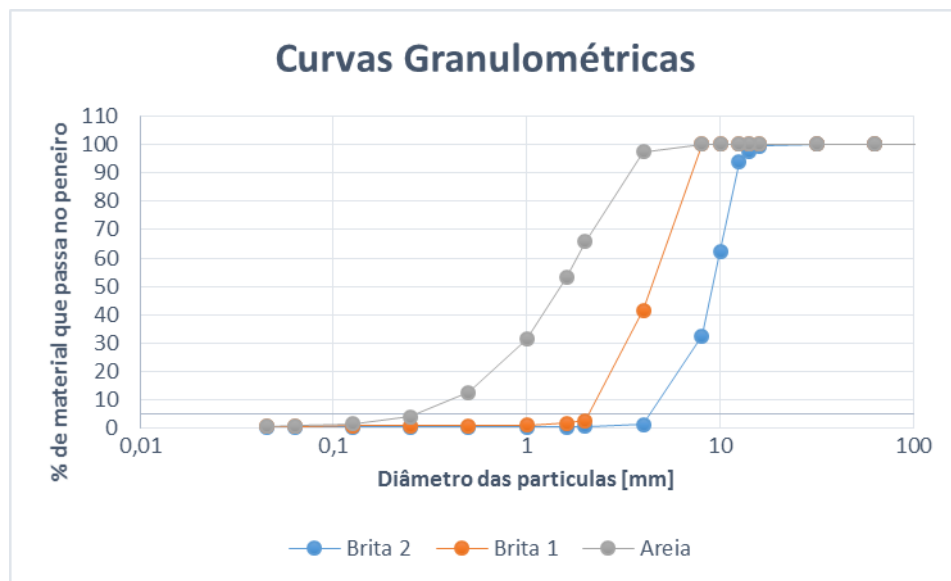


Figura 3.3 - Curvas Granulométrica.

3.1.2. Aplicação do Método de Faury

Para o uso deste método seria necessário ter alguns dados fornecidos previamente. Como isso não aconteceu foram feitas algumas suposições que não deverão ter influência neste caso de estudo. Neste método os quadros que são mencionados estão de acordo com o documento “Estudo da Composição de Betões”. Este estudo foi feito segundo a norma NP-ENV206 (9).

I. Limitação da máxima dimensão do inerte mais grosso

I.1. Efeito de parede

Este parâmetro foi desprezado considerando assim $R/D = 1$

I.2. Efeito de segregação

O efeito de segregação é dado pela relação entre a máxima dimensão do inerte (D) e o raio médio da malha da armadura ou de uma fenda. Como o betão fabricado a partir destes cálculos foi feito com o objetivo de realizar as faces dos provetes que não contêm armadura, considerou-se que este efeito não ocorreu.

II. Valor médio da tensão de rotura à compressão do betão para o estudo da compressão

Para a realização deste trabalho foi escolhido o betão C25/30. Esta classe de betão possui uma resistência à compressão de 30 MPa em provetes cúbicos, sendo uma das mais usadas na construção em Portugal. A capacidade de resistência do betão à compressão não é relevante, visto que apenas queremos medir os níveis de radiação emitidos (18).

Nesta secção é necessário definir o número de provetes que vão ser sujeitos a um ensaio de compressão. Neste caso o ensaio não é importante, mas precisamos de saber o número de provetes para se descobrirem alguns termos que serão apresentados na tabela 3.3, a partir da consulta do Quadro 2.4 presente no documento “Estudo da Composição dos Betões”. Para isso foram considerados 6 provetes.

Tabela 3.3 - Valores de λ e K

n	λ	K
6	1,87	3

As equações 3.1 e 3.2 estão estabelecidas na norma NP-ENV206, na cláusula 11.3.5.4. e referem dois critérios de verificação da conformidade para a resistência à compressão, que têm em conta o plano de amostragem definido para o controle de qualidade. Seguindo o critério 1 vem,

$$\overline{X}_n \geq f_{ck} + \lambda \cdot S_n \Leftrightarrow \overline{X}_6 \geq f_{ck} + \lambda \cdot S_n \geq 30 + 1,87 \cdot 4,4 \geq 38,23 \text{ MPa} \quad (3.1)$$

$$X_{min} \geq f_{ck} - k \leftrightarrow X_{min} \geq 30 - 3 \geq 27 \text{ MPa} \quad (3.2)$$

Como o valor da resistência à compressão X_6 é maior que o valor mínimo X_{min} , significa que respeita a condição.

A classe de abaixamento considerada foi a S2, e de acordo com o Quadro 3.10 do documento “Estudo da Composição dos Betões” esta classe possui um abaixamento de 50 a 90 mm. O Quadro 3.8 do mesmo documento refere-se à classe de consistência definida a partir do ensaio de abaixamento, e para uma trabalhabilidade mole temos 40 a 150 mm de abaixamento do cone de Abrams. A tabela 3.4 apresenta a informação relativa aos desvios padrão em função das condições de produção do betão, esta informação está explícita no Quadro 2.6 do documento “Estudo da Composição de Betões”.

Tabela 3.4 - Desvio padrão.

Medição dos componentes		Grau de controlo da produção	Desvio padrão [Mpa]
Cimento	Inertes		
Peso	Peso	Bom	4,4

III. Razão A/C máxima

A figura 3.4 refere a estimativa do valor da razão A/C. Conhecendo a classe do betão e a sua resistência à compressão analisa-se a Figura 1 da American Concrete Institute - ACI e chega-se à conclusão que a razão A/C tem o valor de 0,47.

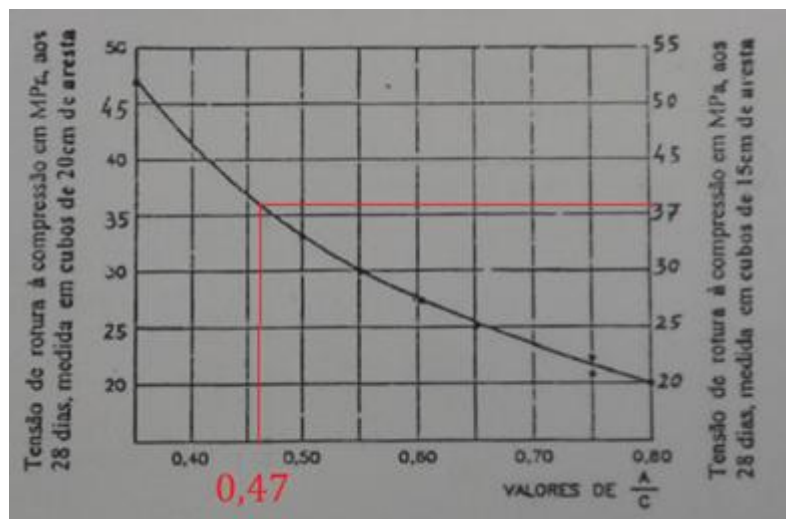


Figura 3.4 - Estimativa do valor da razão A/C.

No Quadro 3.14 presente no documento “Estudo da Composição do Betão” estão definidas as classes de exposição relacionadas com as condições ambientais, para este caso considerou-se ambiente seco. Após a seleção do tipo de condições ambientais é necessário consultar o Quadro 3.15 do mesmo documento, que se refere aos requisitos de durabilidade relacionados com a exposição ambiental. Para um ambiente seco não existe valor referente à razão A/C para betão simples, neste caso considerou-se o valor correspondente ao betão armado que possui uma razão $A/C \leq 0,65$. Posto isto está verificada a condição, uma vez que a razão A/C determinada que tem o valor de 0,47 é inferior à máxima estipulada pela norma que tem o valor de 0,65.

IV. Estimativa do índice de vazios

Usando a fórmula de Faury presente no capítulo 4.3 do documento “Estudo da Composição do Betão”:

$$I_v = \frac{K}{\sqrt[5]{D}} + \frac{K'}{\frac{R}{D} - 0,75} \quad (3.3)$$

Em que, I_v , é o índice de vazios de Faury, expresso em m^3 por cada m^3 de betão, K e K' , são valores tabelados, R, é o raio médio do molde, em mm e, D, é a máxima dimensão do inerte mais grosso, em mm.

O Quadro 4.2 do documento “Estudo da Composição do Betão” refere os valores dos parâmetros K e K’ para a determinação do índice de vazios. Para uma trabalhabilidade mole, referente a um inerte grosso britado, este quadro apresenta um intervalo de valores para K, entre 0,36 a 0,38, considerando-se o valor 0,37 para os cálculos. Este quadro para o mesmo tipo de trabalhabilidade apresenta o valor de 0,003 para o parâmetro K’. A máxima dimensão do inerte mais grosso resulta do ensaio de peneiração da Brita 2 que é 16 mm.

$$I_v = \frac{0,37}{\sqrt[3]{25,4}} + \frac{0,003}{1-0,75} = 0,225 \text{ m}^3/\text{m}^3 \quad (3.3)$$

V. Água da amassadura

$$A = (I_v - V_v) \times 1000 \quad (3.4)$$

Onde, A, é a dosagem de água de amassadura, expressa em litros por cada m³ de betão, I_v, é o índice de vazios, expresso em m³ por cada m³ de betão e, V_v, é o volume de vazios, expresso em m³ por cada m³ de betão.

Para a máxima dimensão do inerte (D = 25,4 mm), o Quadro 9 associa um volume de vazios V_v = 15 l/m³ de betão.

$$A = (0,206 - 0,015) \times 1000 = 191 \text{ l/m}^3 \quad (3.4)$$

VI. Dosagem de cimento

$$C = A/(\text{razão } A/C) \quad (3.5)$$

Onde, C, é a dosagem de cimento, expressa em kg por cada m³ de betão e, A, é a dosagem de água de amassadura, expressa em litros por cada m³ de betão.

$$C = \frac{191}{0,47} = 407 \text{ Kg} \quad (3.5)$$

VII. Volume das partículas de cimento (V_c)

$$V_c = \frac{C}{\delta_c} \quad (3.6)$$

Onde, V_c , é o volume das partículas de cimento, expressa em m^3 por cada m^3 de betão, δ_c , é a massa volúmica do cimento, em kg/m^3 e, C , é a dosagem de cimento determinada no ponto anterior, expressa em kg por cada m^3 de betão.

$$V_c = \frac{407}{3150} = 0,129 \text{ m}^3/\text{m}^3 \quad (3.6)$$

VIII. Volume do total das partículas sólidas do betão (V_s)

$$V_s = 1 - I_v \quad (3.7)$$

Onde, V_s , é o volume total das partículas sólidas do betão, expresso em m^3 por cada m^3 de betão e, I_v , é o índice de vazios de Faury, expresso em m^3 por cada m^3 de betão.

$$V_s = 1 - 0,225 = 0,775 \text{ m}^3/\text{m}^3 \quad (3.7)$$

IX. Percentagem do volume de cimento em relação ao volume sólido total ($C\%$)

$$C\% = \frac{V_c}{V_s} \times 100 \quad (3.8)$$

Onde, $C\%$, é a percentagem do volume das partículas de cimento em relação ao volume total das partículas sólidas do betão, V_c , é o volume das partículas de cimento, expresso em m^3 por cada m^3 de betão e, V_s , é o volume total das partículas sólidas de betão, expresso em m^3 por cada m^3 de betão.

$$C\% = \frac{0,129}{0,775} \times 100 = 16,66 \% \quad (3.8)$$

X. Granulometria

$$MF = \frac{\sum \text{Retidos acumulados nos peneiros } n^{\circ}(100) + (50) + (30) + (16) + (8) + (4) + \left(\frac{3}{8}\right)'' + \left(\frac{3}{4}\right)'' + (1,5)'' + (3)''}{100} \quad (3.9)$$

Através dos dados apresentados na tabela 3.2 referentes ao ensaio de peneiração de cada agregado, aplicou-se a fórmula 3.9 e determinou-se os módulos de finura de cada agregado presentes na tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Módulos de finura dos agregados

Agregado	Módulo de finura
Areia	7,315
Brita 1	9,472
Brita 2	11,083

XI. Curva de referência de Faury

Este passo está descrito no capítulo 4.10.2, presente no documento “Estudo da Composição de Betões” e, refere-se à curva granulométrica de referência de Faury.

$$P = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75} \quad (3.10)$$

Onde, A e B, são valores tabelados, R, é o raio médio do molde, em mm e, D, é a máxima dimensão do agregado, em mm.

No Quadro 4.4 do documento “Estudo da Composição de Betões”, estão mencionados os parâmetros de A e B da curva de referência de Faury, para uma trabalhabilidade mole referente a um inerte grosso britado, o parâmetro A tem o valor de 30. Para o mesmo tipo de trabalhabilidade o valor de B é 2.

$$P = 30 + 17\sqrt[5]{16} + \frac{2}{1 - 0,75} = 67,60 \% \quad (3.10)$$

XII. Determinação das percentagens dos componentes sólidos

Na figura 3.5, exemplifica-se o modo como se determinam as percentagens dos componentes sólidos, relativamente ao volume do total das partículas sólidas do betão (V_s). Note-se que a curva de referência inclui o cimento.

Da divisão das “áreas de influência”, efetuada do modo exemplificado anteriormente, resultam duas linhas verticais (r_1) e (r_2). A interceção dessas linhas com a curva de referência conduz à determinação de dois pontos, os pontos (A) e (B), respetivamente. A projeção desses pontos, paralelamente ao eixo das abcissas, conduz às percentagens p_1 e p_2 , lidas no eixo das ordenadas (9).

As percentagens p_1 e p_2 têm o seguinte significado:

- i) ($p_1\%$) é a soma das percentagens de cimento ($C\%$) e do inerte 1 ($I_1\%$). Se a percentagem de cimento é conhecida, então, será fácil determinar a percentagem do inerte 1 ($I_1\%$);
- ii) ($p_2\% - p_1\%$) fornece a percentagem do inerte 2 ($I_2\%$);
- iii) ($100\% - p_2\%$) corresponde à percentagem do inerte 3 ($I_3\%$) (9).

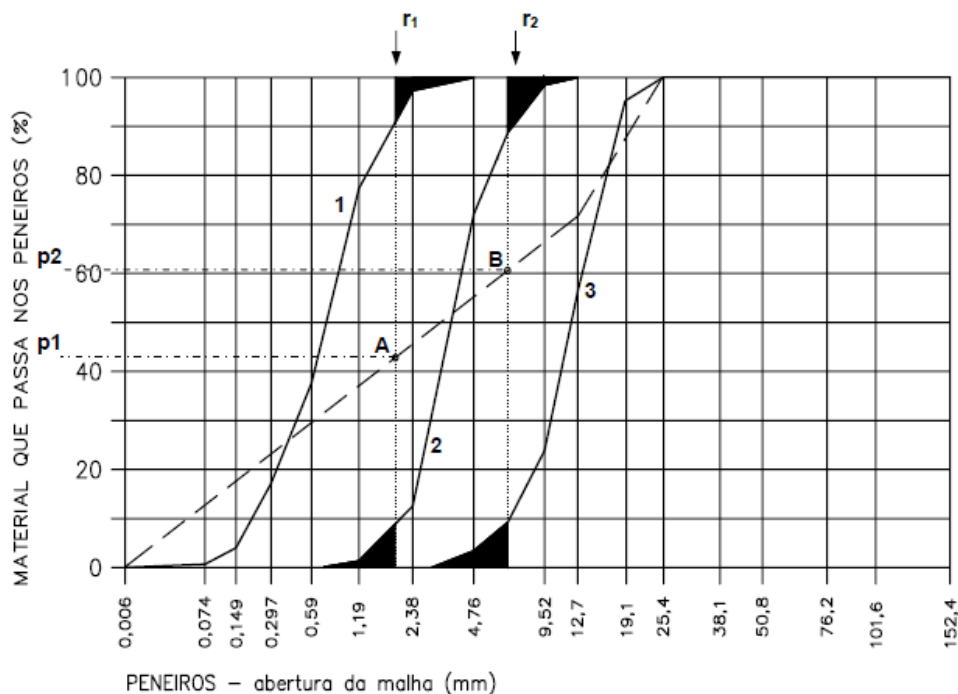


Figura 3.5 - Determinação das percentagens dos componentes sólidos (Adaptado de Nepomuceno, 1999 em (9)).

A percentagem de Areia + Cimento é igual a 51 %. Do ponto IX, sabe-se que a percentagem de cimento é igual a 16,27 %, restando assim 34,73 % para a areia.

Para a Brita 1, considera-se que passa nos peneiros 70 % do seu volume. Retirando os 51 % da Areia + Cimento, restam 19 %, sendo a percentagem usada na realização do betão.

A percentagem de Brita 2 é o restante, ou seja, 30 %.

XIII. Módulo de finura de Faury para a curva de referência de Faury

$$\alpha = A + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75} \quad (3.11)$$

Onde, A, B, R e D têm o mesmo significado já definido no traçado da curva de referência.

$$\alpha = 30 + \frac{2}{1 - 0,75} = 38 \quad (3.11)$$

Consultando o Quadro 4.5, que diz respeito ao módulo de finura de Faury, para a curva de referência de Faury, o valor de $\alpha = 38$, em conjunto com a máxima dimensão do agregado, $D = 16$ mm, corresponde a um módulo de finura 4,01.

XIV. Módulo de finura de Faury para a composição

$$MF_{real} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n (I_i\% \cdot MF_i) \quad (3.12)$$

Onde, $I_i\%$, é a percentagem do volume das partículas do agregado i , em relação ao volume do total das partículas sólidas do betão, MF_i , é o módulo de finura do agregado i e, n , é o número de agregados.

$$MF_{real} = \frac{1}{100} \cdot (34,73 \cdot 7,315 + 19 \cdot 9,472 + 30 \cdot 11,083) = 7,64 \quad (3.12)$$

XV. Aproximação do módulo de finura da mistura ao módulo de finura da curva de referência

A mistura dos agregados obtida pela construção geométrica, não tem obrigatoriamente o módulo de finura da curva de referência, uma vez que a construção gráfica só tem em conta o início e o fim da curva granulométrica de cada agregado, ignorando o que se passa entre os extremos da curva. Para isso, é necessário ajustar as percentagens dos agregados. Este ajuste está presente na tabela 3.6 (9).

Tabela 3.6 - Módulos de finura da mistura dos inertes.

Agregado	Inicial			Acerto	
	Mf _i	l _i %	Mf _i x l _i %/100	l' _i %	Mf _i x l' _i %/100
Areia	7,315	34,73	2,54	31,81	2,33
Brita 1	9,472	19,00	1,80	19,00	1,80
Brita 2	11,083	30,00	3,32	32,53	3,61
		Σ	7,66	Σ	7,74

XVI. Massa de cada componente sólido

$$I_i = \frac{l'_i \cdot v_s}{100} \cdot \delta_i \quad (3.13)$$

Onde, l'_i %, é a percentagem final (corrigida), do volume das partículas do agregado i, em relação ao volume total das partículas sólidas de betão, V_s, é o volume do total das partículas sólidas do betão, em m³ por cada m³ de betão e, δ_i, é a massa volúmica do agregado i, em kg/m³.

$$I_{areia} = \frac{31,81 \cdot 0,775}{100} \cdot 2590 = 638,89 \text{ Kg} \quad (3.13)$$

$$I_{brita 1} = \frac{19 \cdot 0,775}{100} \cdot 2680 = 394,88 \text{ Kg} \quad (3.13)$$

$$I_{brita 2} = \frac{32,53 \cdot 0,775}{100} \cdot 2690 = 678,60 \text{ Kg} \quad (3.13)$$

XVII. Apresentação final da composição do betão para a produção de 1 metro cúbico da amassadura

Os dados apresentados na tabela 3.7, referem as quantidades de cada constituinte do betão. Estas quantidades são referentes a um volume total de betão de 0,148 m³.

Tabela 3.7 - Quantidades dos constituintes do betão.

Constituinte	Quantidade
Areia [Kg]	94,56
Brita 1 [Kg]	58,44
Brita 2 [Kg]	100,43
Cimento [Kg]	60,24
Água [l]	28,27

O betão é constituído por uma mistura de agregados (finos e grossos), ligados entre si pela pasta de cimento (cimento + água) e, possivelmente, poderão ser adicionados adjuvantes ou aditivos, que entram na mistura em quantidades relativamente pequenas. Para a realização de qualquer tipo obra que tenha na sua constituição betão, é necessário determinar as quantidades dos seus constituintes.

O mesmo foi feito neste trabalho laboratorial, onde também foi necessário realizar esses cálculos. Após a determinação individual de cada constituinte, procedeu-se à realização do betão, com o objetivo de fabricar os provetes cúbicos (33).

3.1.3. Procedimento Laboratorial

Para a realização dos provetes cúbicos de betão, foi necessário dividi-los em 8 peças, isto porque, foi a melhor forma encontrada para a betonagem e montagem. Com o objetivo de obter um cubo com 40 cm de aresta, foi necessário fazer duas peças com 40x40x5 [cm] que foram usadas para servir de topo e base, mais quatro peças laterais com 35x35x5 [cm]. Os provetes foram feitos com estas medidas, de forma a obter um volume de espaço vazio de 27000 cm³, e se possível não ficarem muito pesados, de forma a ser possível manobra-los.

Este trabalho laboratorial iniciou-se com a realização da cofragem. Foram feitos 8 moldes, de forma a conseguir betonar um provete de cada vez. Estes moldes foram feitos nos serviços

técnicos da universidade, uma vez que era necessário ter um bom equipamento, para haver precisão nas medidas de forma a evitar faces irregulares.



Figura 3.6 - Cofragem usada na betonagem.

Após se ter a cofragem pronta, procedeu-se à pesagem dos materiais (areia, brita 1, brita 2 e cimento). À medida que os materiais se iam pesando colocavam-se na betoneira. Ligou-se a betoneira quando todos estavam no seu interior. Deixou-se misturar um pouco e foi-se adicionando água até perfazer a sua quantidade total. Enquanto a betoneira trabalhava para ligar bem todos os materiais, com o objetivo de obter a melhor qualidade possível de betão, aproveitou-se para untar os moldes com óleo de cofragem, para que o betão não colasse à madeira. Posto isto procedeu-se à betonagem e seguidamente vibraram-se todas as peças. Por fim para regularizar a parte superior recorreu-se ao uso de uma talocha.



Figura 3.7 - Vibração do betão.

Depois de todo este trabalho realizado foi necessário repetir o processo três vezes, perfazendo um total de 4 provetes.

Tabela 3.8 - Dados dos provetes de betão.

	Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4
Betonado	14-03-2014	17-03-2014	19-03-2014	21-03-2014
Descobrado	17-03-2014	19-03-2014	21-03-2014	28-03-2014

No final, depois de ter as peças dos provetes todas betonadas e após o betão estar curado, procedeu-se à aplicação do revestimento. Os tipos de revestimento usados foram tinta de água, tinta plástica, e estuque, ficando assim um provete sem revestimento. Deixou-se secar bem o revestimento e de seguida procedeu-se à montagem do provete, de forma a ficarem bem selados para que impedisse a entrada de ar para o seu interior.

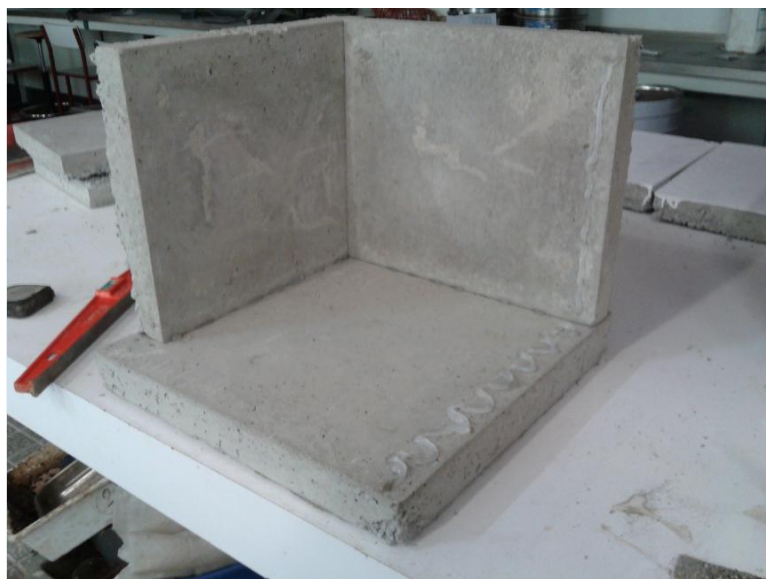


Figura 3.8 - Montagem do provete de betão.

A seguir à montagem de cada provete colocou-se um detetor CR39 no seu interior, anotando a hora e a referência do detetor. A tabela 3.9 refere estes dados e ainda a data na qual foram abertos os provetes (52 dias após serem fechados), para retirar os detetores com o objetivo de estudar os resultados.

Tabela 3.9 - Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de betão.

	Referência	Dia de colocação do detetor	Hora	Dia de retirada do detetor	Número de dias de exposição
Sem Revestimento	226431	11-04-2014	17:21	02-06-2014	52
Tinta de Água	226443	11-04-2014	17:20	02-06-2014	52
Tinta Plástica	226432	11-04-2014	17:18	02-06-2014	52
Estuque	225144	11-04-2014	17:23	02-06-2014	52



Figura 3.9 - Provete de betão revestido por tinta de água com o detetor no seu interior.

A figura 3.10 mostra o provete totalmente selado, com o detetor no seu interior, com o objetivo de obter os níveis de radão gerados por ele.



Figura 3.10 - Provete de betão selado com um detetor no seu interior.

3.2. Provetes de tijolo cerâmico

Para a realização destes provetes, foi necessário recorrer ao uso de uma rebarbadora para cortar os tijolos com as dimensões corretas, para posteriormente se proceder à montagem das peças. Para cada provete foram feitas duas peças com 50x50x7 [cm], que serviram de topo e base, mais quatro peças com 50x40x7 [cm] para as partes laterais, com o objetivo de obter provetes com 50 cm de aresta, e um volume de espaço interior de 51840 cm³. Houve um erro de cálculo nas dimensões das faces laterais que deveriam ser de 43x40x7 [cm] e não de 50x40x7 [cm], mas como este erro não afetava o volume de ar no interior do provetes prosseguiu-se para a realização do mesmos.

Após ter os tijolos cortados iniciou-se a montagem das peças, foi necessário recorrer à ajuda de um nível, de forma a deixar as faces o mais perfeitas possível. A ligação entre os tijolos foi feita com silicone como mostra a figura 3.11.

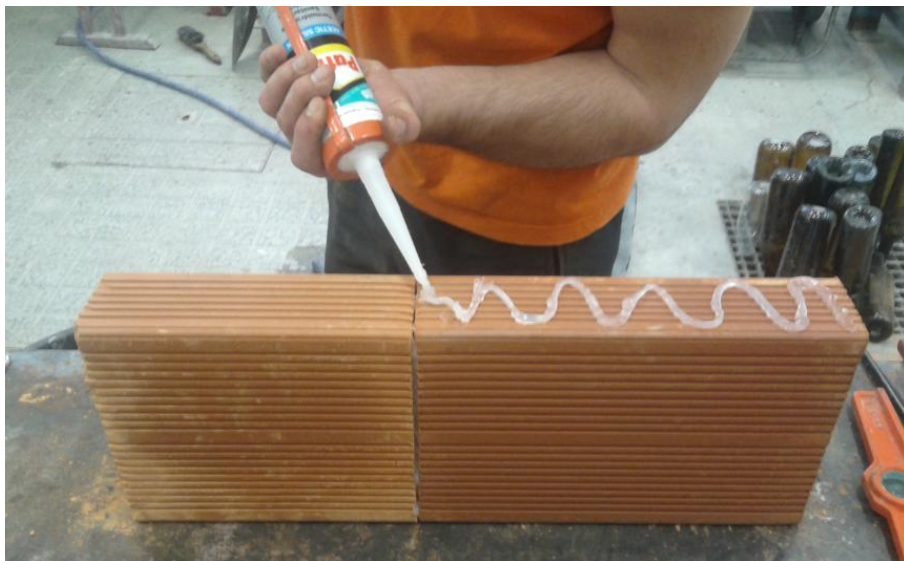


Figura 3.11 - Ligação entre tijolos através de silicone.

Depois de a peça estar concluída com todos os tijolos ligados, aplicou-se um arame que teve como finalidade produzir um esforço para que as juntas entre tijolos não abrissem, de forma a impedir a entrada de ar para o interior dos provetes. Este processo pode ser visto na figura 3.12.



Figura 3.12 - Faces de tijolo cerâmico sujeitas a forças de compressão devido à aplicação do arame.

Seguidamente aplicaram-se os revestimentos nas peças, usando tinta plástica, tinta de água e estuque. Deixou-se secar bem e iniciou-se o processo de montagem dos provetes. Antes de se colocar a última peça, ou seja, a face que serviu de topo, colocou-se um detetor CR39 no interior de cada provete para medir a quantidade de radão emitida pelos tijolos cerâmicos e pelos diferentes tipos de revestimento, anotando a hora e referência do detetor.

Passados alguns dias, após a realização dos provetes, decidiu-se tapar todos os buracos dos tijolos cerâmicos e selar melhor as juntas entre faces, uma vez que estes provetes contêm sempre algumas imperfeições e o silicone poderia não ter selado totalmente os provetes. Para combater estas imperfeições foi utilizado uma espuma de poliuretano. Este material possui uma vasta gama de aplicações na construção civil, nomeadamente o enchimento de juntas. Possui também uma excelente capacidade de isolamentos térmicos e acústicos. Neste trabalho a espuma de poliuretano teve como principal função estabelecer uma barreira entre o exterior e o meio que queremos proteger, neste caso teve como objetivo principal impedir a entrada e saída de ar, para conseguir medir o radão produzido apenas pelos materiais no interior do provete. Não existem estudos sobre a radiação emitida por este material, mas pode-se concluir que não emite radiação ou emite valores muito reduzidos, uma vez que esta

espuma é obtida a partir da reação química entre dois compostos químicos líquidos, o isocionato, que é um ativador de reação e o composto químico conhecido como polioliol. Para dar a aparência de espuma, ao produto resultante de uma reação química, emprega-se um gás como agente expensor CFC (19). O resultado final pode ser visto na figura 3.13.



Figura 3.13 - Provetes de tijolo cerâmico.

Na tabela 3.10 estão referidos os dados relativos aos provetes de tijolo, importa destacar que os provetes estiveram 11 dias com possíveis fugas de ar, antes da aplicação da espuma de poliestireno.

Tabela 3.10 - Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de tijolo.

	Referência	Dia de colocação do detetor	Hora	Dia de colocação da espuma	Hora	Dia de retirada do detetor	Número de dias de exposição
Sem Revestimento	226441	11-04-2014	17:47	22-04-2014	10:21	31-05-2014	52
Tinta de Água	228229	11-04-2014	17:31	22-04-2014	10:00	31-05-2014	52
Tinta Plástica	225021	11-04-2014	17:34	22-04-2014	10:13	31-05-2014	52
Estuque	225301	11-04-2014	17:29	22-04-2014	09:50	31-05-2014	52

3.3. Provetes de rocha

Cada provete de granito tem na sua constituição 2 placas de 40x40x5 [cm] que serviam de topo e base, mais 4 placas de 35x30x5 [cm] para as faces laterais.

Iniciou-se a realização destes provetes, aplicando os revestimentos nas placas de granito. Após deixar secar bem os revestimentos procedeu-se à montagem dos provetes, pode ser visto na figura 3.14.



Figura 3.14 - Montagem dos provetes de rocha sem revestimento.

Antes de se fechar o provete, introduziu-se um detetor CR39 no seu interior, com o objetivo de medir a quantidade de radão produzida por este durante 48 dias, anotando a hora e referência de cada detetor.



Figura 3.15 - Detetor no interior de provete revestido a tinta plástica.

Tabela 3.11 - Dados referentes aos detetores colocados nos provetes de rocha.

	Referência	Dia de colocação do detetor	Hora	Dia de retirada do detetor	Número de dias de exposição
Sem Revestimento	228230	22-04-2014	14:00	09-06-2014	48
Tinta de Água	226404	22-04-2014	14:15	09-06-2014	48
Tinta Plástica	226425	22-04-2014	14:26	09-06-2014	48
Estuque	228227	22-04-2014	14:46	09-06-2014	48

Para finalizar esta secção referente aos provetes, é importante analisar a tabela 3.12 que representa um resumo das características dos diferentes tipos de provetes.

Tabela 3.12 - Características dos provetes.

	Betão	Rocha
Dimensões [cm]	40 X 40 X 40	40 X 40 X 40
Volume interior [cm ³]	27000,00	27000,00
Volume exterior [cm ³]	64000,00	64000,00
Volume de material [cm ³]	37000,00	37000,00
Espessura das paredes [cm]	5,00	5,00
Massa volúmica [Kg/m ³]	2500,00	2628,00
Massa do provete [Kg]	92,50	97,24
Tijolo		
Dimensões [cm]	50 X 50 X 54	
Volume interior [cm ³]	51840,00	
Volume exterior [cm ³]	132840,00	
Volume de material [cm ³]	81000,00	
Espessura das paredes [cm]	7,00	
Peso unitário de tijolo [Kg]	3,10	
Nº de tijolos	21,71	
Massa do provete [Kg]	67,30	

3.4. Revestimentos utilizados nos provetes

3.4.1. Tinta de Água

A tinta de água utilizada no revestimento dos provetes, foi fabricada pela empresa Corporação Industrial do Norte, S.A. que está situada na Maia, e foi adquirida na empresa Fernandes & Fernandes, situada na zona industrial do Canhoso, conselho da Covilhã. Esta tinta de cor branca, da marca CIN, foi fornecida numa lata de 1 litro.

Após abrir a lata, mexeu-se a tinta com o objetivo de esta ficar o mais homogeneizada possível. De seguida, com as superfícies das placas dos provetes bem secas e isentas de poeiras aplicou-se a tinta. Para isso recorreu-se à ajuda de uma trincha, que de uma forma cuidada pintaram-se todos os pontos das placas de forma a ficar o mais preenchida possível. Esta tinta apresentava uma muito boa opacidade, elevada resistência à luz e aos álcalis. Importa referir que foi apenas aplicada uma demão.



Figura 3.16 - Tinta de Água.

3.4.2. Tinta Plástica

A tinta plástica utilizada no revestimento dos provetes, foi fabricada pela empresa Tintas Robbialac, S.A. sediada em Bobadela, pertencente ao concelho de Loures. Foi adquirida na empresa Bricocovilhã, situada na Covilhã. Esta tinta de cor branca, da marca Robbialac, foi fornecida numa lata de 1 litro.

Após abrir a lata mexeu-se a tinta com o objetivo de esta ficar o mais homogeneizada possível. Posteriormente, com as superfícies das placas constituintes dos provetes estarem bem secas e isentas de poeiras aplicou-se a tinta. Para isso, recorreu-se à ajuda de uma trincha, que de uma forma cuidada preencheu-se todos os pontos das placas de forma a ficar o mais preenchida possível. Esta tinta apresenta como vantagens um excelente acabamento e uma boa resistência à lavagem. Importa referir que foi apenas aplicada uma demão.



Figura 3.17 - Tinta Plástica.

3.4.3. Gesso

O gesso utilizado no revestimento dos provetes, foi fabricado pela empresa Saint-Gobain Placo Ibérica, S.A. que está situada em San Martín de la Veja, conselho de Madrid. Este gesso da marca Placo foi fornecido num saco de 25 Kg.

Este gesso misturou-se com água proveniente da rede de abastecimento público, com o objetivo de formar o estuque. Após as superfícies das placas estarem bem secas e isentas de poeiras aplicou-se o estuque. Para isso recorre-se à ajuda de uma colher de pedreiro, para espalhar o estuque e deixar a superfície o mais regular possível.

O gesso apresentava um elevado conteúdo de perlita (mineral de origem vulcânica) e um excelente comportamento frente ao fogo. É normalmente utilizado como reboco de interiores sobre construções em tijolo, bloco, betão, entre outros.



Figura 3.18 - Gesso.

Capítulo 4

Resultados das medições

4.1. Ramon - radon monitor 2.2

Este dispositivo foi colocado próximo das amostras, no laboratório de Materiais de Construção, no polo das engenharias da Universidade da Beira Interior durante 15 dias. Foi colocado no dia 5 de Maio de 2014 e retirado no dia 20 do mesmo mês. A quantidade de radiação lida por este detetor foi de 238 Bq/m³.

4.2. 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, que está temporariamente localizado no laboratório de Radiometria Fototérmica, inserido no Centro de Ótica, situado no polo principal da Universidade da Beira Interior. 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 de betão estiveram completamente selados durante 52 dias. 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 4.1, consegue-se observar as quantidades de radão geradas em cada provete.

Tabela 4.1 - Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de betão.

BETÃO					
Nº Leituras	Sem Revestimento [Bq/m ³]	Tinta de Água [Bq/m ³]	Tinta Plástica [Bq/m ³]	Estuque [Bq/m ³]	Dias de Exposição
1	189	169	173	243	52
2	179	168	168	233	
3	178	155	177	237	
4	181	166	174	224	
5	187	168	174	246	
6	182	162	177	238	
7	187	163	177	235	
8	187	160	174	225	
9	176	163	175	245	
10	181	161	173	224	
Média	182,7	163,5	174,2	235	
Desvio Padrão	4,5	4,35	2,7	8,46	
Desvio padrão da média	1,42	1,38	0,85	2,67	
% Desvio	0,78%	0,84%	0,49%	1,14%	

Os provetes de tijolo cerâmico estiveram fechados durante o mesmo tempo que os de betão, 52 dias. Os resultados das medições de cada detetor estão apresentadas na tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de tijolo.

TIJOLO					
Nº Leituras	Sem Revestimento [Bq/m ³]	Tinta de Água [Bq/m ³]	Tinta Plástica [Bq/m ³]	Estuque [Bq/m ³]	Dias de Exposição
1	72	59	84	92	52
2	78	68	82	80	
3	79	57	87	89	
4	72	62	84	87	
5	76	54	81	85	
6	77	59	84	87	
7	73	64	87	78	
8	79	61	85	80	
9	80	65	84	85	
10	75	64	80	80	
Média	76,1	61,3	83,8	84,3	
Desvio Padrão	3	4,16	2,3	4,62	
Desvio padrão da média	0,95	1,32	0,73	1,46	
% Desvio	1,25%	2,15%	0,87%	1,73%	

Os provetes de rocha, estiveram fechados menos tempo que os provetes de betão e tijolo cerâmico, 48 dias. Durante esse tempo, cada provete conteve no seu interior um detetor CR39, que mediu a quantidade de radão produzida pela rocha e pelos diferentes tipos de revestimento. Os dados referentes a cada provete são apresentados na tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Dados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes de rocha.

ROCHA					
Nº Leituras	Sem Revestimento [Bq/m ³]	Tinta de Água [Bq/m ³]	Tinta Plástica [Bq/m ³]	Estuque [Bq/m ³]	Dias de Exposição
1	611	1591	1436	605	48
2	606	1515	1440	602	
3	622	1565	1450	595	
4	627	1594	1372	604	
5	602	1535	1436	592	
6	611	1341	1465	606	
7	609	1572	1384	604	
8	618	1445	1365	557	
9	619	1527	1359	588	
10	628	1487	1363	550	
Média	615,3	1517,2	1407	590,3	
Desvio Padrão	8,84	77,62	41,82	20,38	
Desvio padrão da média	2,8	24,55	13,23	6,44	
% Desvio	0,45%	1,62%	0,94%	1,09%	

Foi instalado um detetor CR39, durante 41 dias, no laboratório de Materiais de Construção, situado no polo das Engenharias na Universidade da Beira Interior, com o objetivo de medir a quantidade de radão presente neste compartimento. Este detetor foi colocado próximo dos provetes de betão, tijolo cerâmico e do detetor de radão Ramon. Os valores obtidos a partir da leitura deste detetor apresentam-se na tabela 4.4, e servem para comparar com os dados obtidos pelo detetor Ramon.

Tabela 4.4 - Dados referentes à leitura do detetor colocado no exterior.

EXTERIOR		
Nº Leituras	Valor da Leitura [Bq/m3]	Dias de Exposição
1	105	41
2	102	
3	103	
4	106	
5	107	
6	106	
7	106	
8	106	
9	103	
10	105	
Média	104,9	
Desvio Padrão	1,66	
Desvio padrão da média	0,53	
% Desvio	0,50%	

Capítulo 5

Conclusões

As conclusões efetuadas, são relativas às leituras dos detetores que estiveram inseridos dentro dos provetes. As unidades em que foram feitas as leituras são as mais usuais na Europa, Bq/m³.

Os valores da concentração de radão, medidos no interior dos provetes de betão, por comparação com os diferentes revestimentos utilizados, relativamente ao provete sem revestimento, são apresentados na figura 5.1.

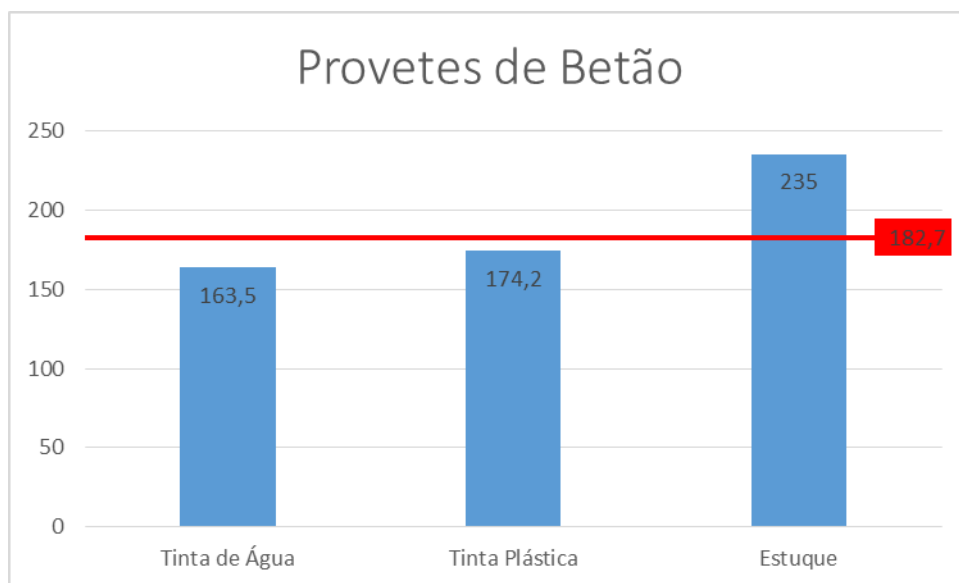


Figura 5.1 - Quantidade de radão gerada nos provetes de betão [Bq/m³].

Como já foi referido, houve um provete de cada tipo de material que não lhe foi aplicado revestimento. Este feito, teve como objetivo, analisar o impacto dos revestimentos nos materiais utilizados, ou seja, concluir se aumentam ou diminuem a concentração de radão, dependendo do revestimento.

Através da análise da figura 5.1 conclui-se que os valores elevados foram obtidos no provete de betão revestido por estuque, uma vez que apresenta os índices de radão mais elevados.

Este revestimento faz aumentar a concentração de radão no interior do provete de betão 28,63 %, tomando o valor de 235 Bq/m³.

Pode-se afirmar, que o betão revestido por tinta pode ser benéfico em termos de concentração de radão, uma vez que a tinta cria uma barreira entre o betão e o meio em análise, reduzindo os níveis de radão. A tinta de água é a que mais reduz os níveis de radão, 10,51 %, uma vez que emite 163,5 Bq/m³. A tinta plástica também reduz os níveis de radão emitidos pelo betão, mas em menor quantidade comparada com a tinta de água, 4,65 %, sendo que emite 174,2 Bq/m³.

Estes dados são referentes ao tipo de revestimentos utilizados. No caso de se utilizarem tintas ou gesso com diferentes composições químicas, pode alterar a quantidade de radão gerada. No caso do estuque, que é uma mistura de água com gesso é necessário ter em atenção o radão contido na água. A água utilizada, proveniente do abastecimento público, foi medida e apresentou valores na ordem dos 75 kBq/m³. Este valor do radão na água pode influenciar pelo menos nos primeiros tempos a emissão de radão pelo gesso. O estudo deve ser prolongado por períodos de tempo maiores, após a preparação dos provetes revestidos com este material, de forma a evitar este tipo de contaminação. As peças de betão tiveram um tempo de cura de 15 dias. Neste tempo de cura o betão necessita de conter água na sua composição para ganhar resistência devido às reações de hidratação. Sendo esta água proveniente do mesmo local da água utilizada na amassadura do estuque, pode ter contribuído para o aumento das quantidades de radão nos provetes de betão. (34).

Tendo em conta os resultados obtidos, pode-se afirmar que o betão revestido por tintas e estuque não atinge valores significativos de radão, uma vez que o valor limite são os 400 Bq/m³, e a grande maioria dos valores registados fica a baixo dos 50 % desse limite estabelecido pela norma.

Atualmente, na construção, para a realização de elementos construtivos, nomeadamente paredes, é comum utilizar-se o tijolo cerâmico. O tijolo cerâmico tradicional é composto por argila e como se verifica pela análise da figura 5.2 este material é pouco radioativo.

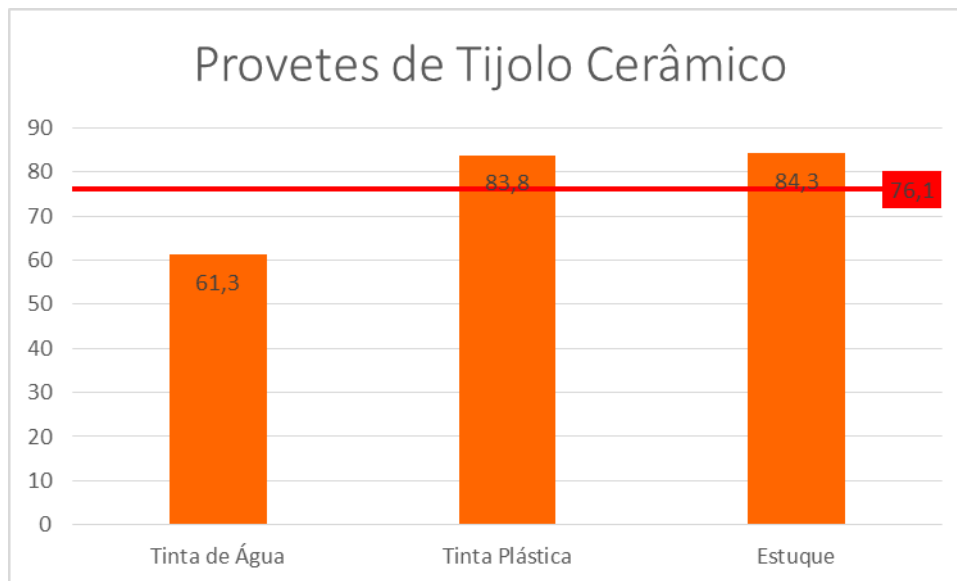


Figura 5.2 - Quantidade de radão gerada nos provetes de tijolo cerâmico [Bq/m³].

Os piores casos em termos de emissão de radão, é o tijolo revestido por estuque e tinta plástica, uma vez que estes dois revestimentos aumentam os níveis de radiação do tijolo cerâmico na ordem do 10 %. A tinta de água é o melhor revestimento, isto porque aplicada no tijolo cerâmico não emite radão e ainda consegue reduzir os níveis emitidos pelo tijolo em 19,45 %. Estes valores estão muito longe do valor limite de 400 Bq/m³ estabelecido pela norma.

Através dos resultados obtidos pelos detetores Ramon e CR39, na medição da quantidade de radão no exterior, estamos em condições de avaliar melhor estes resultados relativos aos provetes de tijolos cerâmicos. Considerando os valores de radão no laboratório de Materiais de Construção entre 100-250 Bq/m³, repara-se que os valores de radão obtidos no interior dos provetes de tijolo cerâmico são inferiores. Isto traduz uma redução dos níveis de radão para o interior dos provetes. Estamos em condições de afirmar que o tijolo cerâmico funciona como uma barreira, uma vez que consegue impedir a passagem do radão do meio exterior para o meio interior, independentemente do revestimento aplicado.

Através da análise da figura 5.3, conclui-se que os provetes de rocha são os que geram maiores quantidades de radão, comparativamente aos provetes de betão e tijolo cerâmico.

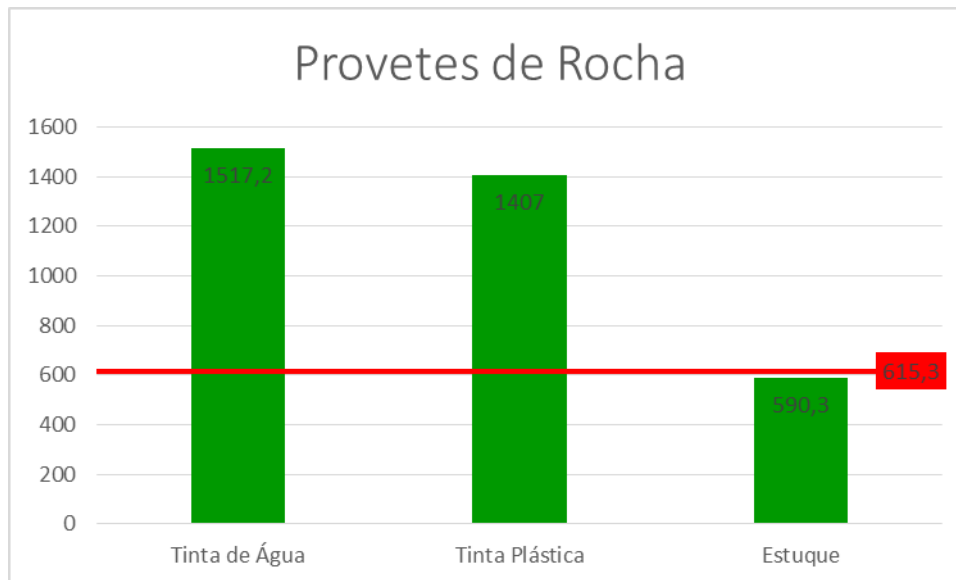


Figura 5.3 - Quantidade de radão gerada nos provetes de rocha [Bq/m³].

O granito sem revestimento, emite uma quantidade de radiação elevada, 615,3 Bq/m³. A situação agrava-se quando lhe são aplicadas tintas. Analisando a figura 5.3, conclui-se que o pior caso é o granito revestido por tinta de água, com este revestimento a aumentar a emissão de radão 147 %, relativamente ao granito sem revestimento. A tinta plástica também apresenta elevados níveis de emissão de radão, uma vez que aumenta os níveis cerca de 129 % comparando com o granito sem revestimento.

Antes da realização deste trabalho, foram feitas umas suposições iniciais relativamente aos revestimentos. Em relação às tintas, pensava-se que a tinta plástica isolaria melhor o radão proveniente dos materiais utilizados, com os resultados obtidos percebe-se que em alguns casos contribui para o aumento. Relacionando os valores obtidos relativos às tintas com os valores de outros autores, conclui-se que à exceção dos valores provenientes dos provetes de granito são todos inferiores. Morazavi, a partir de experiências realizadas em madeira, concluiu que a pintura convencional emitia 515 Bq/m³ e a tinta plástica 937 Bq/m³, por sua vez, vários autores da Índia apresentaram o valor de 1004 Bq/m³ para a tinta branca.

Dos revestimentos utilizados, o que menos radão emite é o estuque. Este revestimento comparado com as tintas não aumenta os níveis de radão produzidos pelo granito, uma vez que reduz em 4% a emissão de radão. Este revestimento estabelece uma barreira relativamente à quantidade de radão emitida pela rocha, mas como ele próprio emite mais gás radão os níveis permanecem semelhantes.

Ao contrário do betão e do tijolo cerâmico, o estuque aplicado no granito reduz ligeiramente os níveis de radão. Posto isto, pode-se afirmar que o estuque até uma determinada quantidade emite radão, a partir desse limite começa a funcionar como barreira.

Todos estes valores referentes à emissão de radão nos provetes de granito, são superiores aos 400 Bq/m³. Assim sendo, é necessário pensar bem antes de aplicar o granito na construção. Pode ficar muito bonito em termos estéticos, mas como é um material muito radioativo pode trazer consequências muito graves a nível de risco de saúde.

É necessário comparar os resultados obtidos do detetor Ramon com os resultados do detetor CR39, colocados no laboratório de Materiais de Construção, muito próximos um do outro. Ambos os detetores apresentam valores a baixo do valor máximo estabelecido pela norma, apesar de haver alguma diferença entre eles. O detetor Ramon registou o valor de 238 Bq/m³, enquanto que o detetor CR39 registou um valor mais baixo, 104,9 Bq/m³.

O detetor CR39 é muito mais preciso que o detetor Ramon, uma vez que o Ramon é um aparelho de consumo de corrente e não é calibrável. O detetor Ramon esteve exposto durante 15 dias, apesar de necessitar apenas de 8 dias para oferecer valores plausíveis.

A grande diferença de resultados entre detetores tem a ver com a ventilação no laboratório. Os detetores foram colocados em datas muito próximas, mas como o detetor CR39 necessita de mais tempo para obter resultados, ficou exposto até dia 9 de junho. Como começou a melhorar o tempo, as portas do laboratório estiveram muito mais tempo abertas, provocando uma maior ventilação no compartimento que contribui para a diminuição dos níveis de radão.

Os provetes foram realizados com o objetivo de simular o que se passa no interior das habitações, sendo que estas fechadas atingem os níveis máximos de radão. Sabendo os índices máximos de radão emitidos pelos materiais, estamos em condições de garantir que não há qualquer problema de se utilizar betão e tijolo cerâmico na construção, uma vez que os valores de radão emitidos por estes materiais estão a baixo do valor máximo estipulado pela norma. Em relação ao granito, é preciso ter mais cuidado. Pode-se utilizar o granito na construção, mas controlando a sua quantidade, de forma a não elevar em grandes quantidades os níveis de radão gerados no interior das habitações. Por exemplo, aplicar granito apenas nas soleiras das portas, peitoris das janelas e balcões de cozinha. Por outro lado, deve-se evitar revestir as paredes exteriores com granito. A nível de revestimentos,

todos podem ser aplicados, deve-se apenas evitar revestir o granito com tintas, uma vez que fazem disparar os níveis de radão.

Para completar este trabalho, em relação aos materiais mais utilizados na construção, seria bom realizar provetes de betão armado, para perceber quais os níveis de radão emitidos pelo aço. Deve-se também fabricar provetes de betão, que tenham na sua constituição apenas agregados de origem calcária para comparar com os valores gerados nos provetes de agregados graníticos. Sabendo que os maiores níveis de radão no interior das habitações estão localizados nas caves, seria bom analisar provetes constituídos por blocos de betão, uma vez que é frequente utilizar este material para fazer as paredes das caves, que estão em contacto com o solo. Seria bom também, estudar o melhor revestimento para estas situações, de forma a reduzir ao máximo a entrada de radão nas habitações.

Em relação aos revestimentos dever-se-ia analisar outros tipos, ou estes tipos mas com composições químicas diferentes, para verificar por exemplo se no granito, quando revestido por tinta de água, apresenta sempre a subida brusca dos níveis de radão. Um revestimento bastante utilizado na construção que não foi estudado neste trabalho são os ladrilhos ou azulejos. Seria curioso estudar estes materiais para ver se reduzem os níveis de radão provenientes dos materiais que revestem.

O estudo realizado centrou-se no estudo do radão devido aos efeitos biológicos por exposição a longo prazo mais bem determinados. Mas é importante referir, que os materiais de construção também emitem outros tipos de radiação, merecendo um estudo mais cuidado.

Bibliografia

1. Ribeiro, Catarina. *Projecto*. Guarda : s.n., 2009. Projecto para a obtenção do grau de licenciado.
2. Pombar, Fábio Sánchez. *Contribuição para o Conhecimento da Contaminação de Solos Resultante da Laboração da Indústria Extractiva Mineira*. Covilhã : s.n., 2011. Dissertação de Mestrado.
3. Soares, Paulo Jorge Ribeiro. *Determinação da Concentração de Radão num Estabelecimento de Ensino Público*. Covilhã : s.n., 2011. Dissertação de Mestrado.
4. Louro, Alina Rosa Coelho. *Da Temática na região da Guarda à construção de um modelo microdosimétrico, Caso particular Acino pulmonar humano*. Covilhã : s.n., 2013. Tese para obtenção do Grau de Doutor em Física.
5. Natural, Laboratório de Radioactividade. http://www.dct.uc.pt/index.php?view=items&cid=10%3Alaboratorios&id=10%3Alaboratorio-de-radioactividade-natural&pop=1&tmpl=component&option=com_allcontacts&Itemid=66&lang=pt&limitstart=1. <http://www.dct.uc.pt>. [Online] 20 de Novembro de 2009. [Citação: 5 de Maio de 2014.]
6. Fogaça, Jennifer Rocha Vargas. <http://www.alunosonline.com.br/quimica/radioatividade-natural-artificial.html>. [Online] Maio de 2014.
7. Ferreira, Miguel Jorge Monteiro de Magalhães e Coelho, Manuel Joaquim Pinto. O radão nos edifícios - minimização da perigosidade. Porto : s.n., Maio de 2014.
8. Viegas, João Carlos. <http://mestrado-reabilitacao.faa.utl.pt/disciplinas/jbastos/JViegasVentilacao.pdf>. [Online] LNEC, Maio de 2014.
9. Nepomuceno, Miguel Costa Santos. Estudo da Composição de Betões. Covilhã : s.n., 1999. Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica.
10. Fior, Loriane. <http://www.ppgem.ct.utfpr.edu.br/dissertacoes/FIOR,%20Loriane.pdf>. [Online] Maio de 2008. [Citação: 28 de Maio de 2014.]
11. Instituto de Física / CREF / [Online] UFRGS. [Citação: 4 de Maio de 2014.] <http://www.if.ufrgs.br/cref/radio/capitulo4.htm>.
12. reserved, Radosys Kft. All rights. Product History and Version Information. <http://www.radosys.com/>. [Online] 2013. [Citação: 2 de Junho de 2014.]
13. Costa, Ana Cristina Silveira. A Física da Radiação no Ensino Secundário. Covilhã : s.n., Junho de 2013.
14. 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 .
15. 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: 6 de Junho de 2014.]
16. Materiais de construção que são perigosos? radiação casa. <http://www.realt5000.com.ua/news/utf/pt/1171671/>. [Online] [Citação: 6 de Junho de 2014.]
17. Falorca, Isabel Maria da Conceição Fonseca Gonçalves. *Mecânica dos Solos I*. Covilhã : s.n., 2011.
18. Inorbel. Indústria de Betões do Norte. http://www.inorbel.pt/betao_c4555/index.html. [Online] 2014. [Citação: 7 de Junho de 2014.]
19. Espuma de Poliuretano. <http://www.ecocasa.org/userfiles/file/ESPUMA%20DE%20POLIURETANO.pdf>. [Online] [Citação: 8 de Junho de 2014.]
20. Radosys. *Radosys Booklets Vol. 5*. 15 de Outubro de 2013. Routine operation of NanoReader.
21. Inácio, Margarida Isabel de Matos. A Física das Radiações no 3º Ciclo do Ensino Básico. Covilhã : s.n., Outubro de 2011. Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre.
22. Ramos, Guilherme da Franca. Determinação de isótopos de urânio e tório e polônio em perfis de sedimento da baixada santista, SP. São Paulo : s.n., 2010. Autarquia associada à Universidade de São Paulo.
23. Mendes, Rui R B. *Dosimetria*. Instrumentação para a Física da Radiação. 2008-2009.
24. Brown, Mike. Potassium-Argon Dating I. <http://www.creation-science-prophecy.com/K-Ar-dating.htm>. [Online] 14 de Junho de 2005. [Citação: 11 de Junho de 2014.]
25. <http://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9dia>. [Online] Setembro de 2011. [Citação: 12 de Junho de 2014.]
26. http://pt.wikipedia.org/wiki/Desvio_padr%C3%A3o. [Online] Setembro de 2011. [Citação: 12 de Junho de 2014.]
27. Tabackniks, Manfredo. e-física Ensino de Física On-Line, 14 de Fevereiro de 2011. http://efisica.if.usp.br/mecanica/universitario/incertezas/desvio_padrao/. [Online] [Citação: 13 de Junho de 2014.]
28. http://www.explicatorium.com/CFQ8/Luz_espectro_eletromagnetico.php. [Online] [Citação: 23 de Maio de 2014.]
29. Visener. <http://www.visener.pt/evite-perigo-radao/>. [Online] 8 de Abril de 2013. [Citação: 20 de Maio de 2014.]
30. Radon, Midwest. <http://www.aair.com/Top-To-Bottom.html>. [Online] [Citação: 15 de Maio de 2014.]
31. Anil Sharma, Ajay Kumar Mahur, R. G. Sonkawade, A. C. Sharma, Raj Kumar and Rajendra Prasad. Radon exhalation in some building construction materials and effect of plastering and paints on the radon exhalation rate using fired bricks.

<http://pelagiaresearchlibrary.com/advances-in-applied-science/vol5-iss2/AASR-2014-5-2-382-386.pdf>. [Online] 2014. [Citação: 10 de Junho de 2014.]

32. Nuclear, Instituto Tecnológico e. Radão - Um gás radioactivo de origem natural.

http://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.itn.pt%2Fdocum%2Frelat%2Fradao%2Fitn_gas_radao.pps&ei=IEOgU86vlpKa1AXn2YGoCw&usg=AFQjCNHGxBZnC7Dw4Z0frYFO3tQDSm6Jrg&sig2=wft3XkYMyUAFeVviVgyXhw&bvm=bv.6891193. [Online] [Citação: 22 de Abril de 2014.]

33. Henriques, José Alexandre.
<http://meioseculodeaprendizagens.blogspot.pt/2013/02/construcao-de-paredes-tijolos-e.html>. [Online] 3 de Fevereiro de 2013. [Citação: 17 de Junho de 2014.]

34. APEB. A Espedificação do Betão. http://www.apeb.pt/fp/GUIA_APEB.pdf. [Online] Maio de 2008. [Citação: 17 de Junho de 2014.]

35. Pedro Almeida, Sandra Soares. Informação Oral. Junho de 2014.

36. http://diariodigital.sapo.pt/news.asp?id_news=179581. [Online] 22 de Junho de 2005. [Citação: 20 de Junho de 2014.]