



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Contribuição das Tintas para a Concentração de Radão em Interiores

Versão Final Após Defesa Pública

Fernando António Maia Lemos

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

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

Covilhã, Novembro de 2016

Agradecimentos

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e tornaram este objetivo possível. À minha irmã, ao meu cunhado, sempre disponíveis e preocupados e aos meus avós.

Ao meu orientador, Professor Doutor Pedro Almeida, pela ajuda prestada, conhecimento e apoio sem a qual não conseguiria realizar esta dissertação.

Ao meu coorientador, Professor Doutor João Lanzinha, pela disponibilidade e ajuda.

À professora Doutora, Sandra Soares, pela amabilidade e por me confiar o laboratório de Estudos dos Efeitos de Exposição ao Radão (LabExpoRad).

À professora, Margarida Inácio pela sua colaboração, disponibilidade, ajuda e empenho tão importante na dissertação.

À minha namorada Beatriz Fonseca pela paciência, compreensão, ajuda e apoio ao longo deste percurso.

Por último, quero agradecer a todos que de uma forma ou de outra me ajudaram a concretizar este trabalho.

Resumo

O radão é um gás radioativo e apresenta vários isótopos (átomos cujo núcleo tem o mesmo número atómico “Z”) sendo os três principais: O radão (^{222}Rn) resultante do decaimento do urânio (^{238}U), o actinão (^{219}Rn) com origem na desintegração do actínio (^{227}Ac) e o torão (^{220}Rn) produto do decaimento do tório (^{232}Th). Este gás liberta-se dos solos e rochas, dos materiais de construção e da água. As suas concentrações mais elevadas ocorrem, geralmente, em rochas graníticas (plutónicas) sendo mais baixas em rochas sedimentares como os calcários. O gás radão é indetetável aos sentidos do ser humano, uma vez que é isento de cor, odor ou sabor, sendo necessário recorrer a equipamento especializado para medir a sua concentração.

O seu estado físico permite uma grande mobilidade em relação a outros elementos radioativos. Uma vez libertado das rochas, este gás tende a concentrar-se em espaços fechados como minas subterrâneas, habitações e outros edifícios. A sua concentração no interior dos locais e a sua posterior desintegração representam um grande risco para a saúde humana, sendo apontado como a segunda maior causa de cancro do pulmão a seguir ao tabaco.

O Decreto-Lei n.º 118/2013, resulta da transposição para o direito nacional, da Diretiva n.º 2010/31/EU, referente ao desempenho energético dos edifícios. Este decreto integra num único documento o sistema de certificação energético dos edifícios e os respetivos regulamentos, e ainda, a política de qualidade do ar interior. De forma a dar cumprimento às alterações impostas pelo decreto de lei, é publicada a Portaria n.º 353-A/2013, que determina os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior. Esta portaria estabelece um limiar de proteção de 400 Bq/m³ para o Radão e a obrigatoriedade de análise de radão em edifícios construídos em zonas graníticas, nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

O presente trabalho tem como objetivo o estudo da contribuição de algumas tintas, habitualmente utilizados na construção civil, para a concentração de radão em interiores. O caso prático do presente estudo consiste na medição da emissão de radão por parte de algumas tintas e permeabilidade ao mesmo. Para esse efeito, foram fabricados provetes em acrílico, sendo que no seu interior foram colocados detetores passivos CR39 sensíveis ao radão, de forma a medir as concentrações deste.

Palavra-chave

Radão, radioativo, Decreto-Lei 118/2013, tintas, detetor passivo, saúde.

Abstract

Radon is a radioactive gas and has several isotopes (atoms whose nucleus has the same atomic number "Z"), with the three main ones being: radon (^{222}Rn) resulting from the decay of uranium (^{238}U), actinon (^{219}Rn) from the disintegration of the actin (^{227}Ac) and the thorium (^{220}Rn) product of thorium decay (^{232}Th). This gas is released from soils and rocks, building materials and water. Its highest concentrations occur generally in granite (plutonic) rocks and are lower in sedimentary rocks such as limestones. Radon gas is undetectable to the human senses, since it is free of color, odor or taste, and it is necessary to use specialized equipment to measure its concentration.

Its physical state allows a great mobility in relation to other radioactive elements. Once released from the rocks, this gas tends to focus on enclosed spaces such as underground mines, dwellings and other buildings. Its concentration inside the sites and its subsequent disintegration represent a great risk to human health, being pointed out as the second biggest cause of lung cancer after tobacco.

Decree-Law no. 118/2013 results from the transposition into Portuguese law of the Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings. This decree integrates in a single document the system of energy certification of the buildings and the respective regulations, as well as the indoor air quality policy. In order to comply with the changes imposed by the decree of law, the Ordinance no. 353-A/2013 is published, which determines the minimum values of new air flow per space, as well as the protection thresholds and the reference conditions for indoor air pollutants. This ordinance establishes a protection threshold of 400 Bq/m³ for Radão and the obligation of radon analysis in buildings built in granitic zones, namely in Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu and Castelo Branco districts.

The present work has the objective of studying the contribution of some paints, usually used in civil construction, to the concentration of radon indoors. The practical case of the present study consists in the measurement of the emission of radon by some paints and its permeability. For this purpose, acrylic specimens were manufactured, and radiant sensitive passive CR39 detectors were placed in the interior to measure their concentrations.

Keywords

Radon, ordinance nº 118/2013, paints, radioactive, passive detector.

Índice

Introdução.....	1
Capítulo 1	3
1.1 Parque Habitacional Português.....	3
1.2 Qualidade do Ar Interior.....	6
1.2.1 Principais Poluentes que Afetam a QAI, Fontes e Efeitos para a Saúde.....	8
1.3 Legislação	10
1.3.1 Decreto-Lei n.º 118/2013.....	10
1.3.2 Portaria n.º 353-A/2013.....	10
1.3.3 Referenciais Europeus e Internacionais (Radão)	12
1.3.4 Recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS).....	14
Capítulo 2 - Fundamentos da Física das Radiações	15
2.1 Radiações	15
2.2 Fontes naturais.....	16
2.3 Fontes artificiais.....	17
2.4 Radiações ionizantes.....	17
2.5 Radiações não ionizantes.....	18
2.6 Radioatividade	18
2.6.1 Decaimentos α	20
2.6.2 Decaimentos β	21
2.6.3 Decaimentos γ	22
2.7 Grandezas e unidades dosimétricas	23
2.8.1 Atividade	23
2.8.2 Dose Absorvida	23
2.8.3 Dose Equivalente.....	24
Capítulo 3 - Radão e a Saúde	25
3.1 Radão.....	25
3.2 Exposição e Risco radiológico.....	27
3.3 Concentrações de Radão em Portugal	28
3.4 Radão nos edifícios	28
3.5 Medidas de mitigação do radão no interior dos edifícios.....	30
3.5.1 Soluções Construtivas para edifícios novos.....	31
3.5.2 Soluções Construtivas para edifícios já existentes.....	32
3.6 Radão em materiais de construção	33
Capítulo 4 - Tintas.....	37
4.1 Breve História das Tintas	37
4.2 Tintas	39

4.3 Composição das tintas	40
4.3.1 Óleos sicativos	42
4.3.2 Resinas	43
4.3.3 Pigmentos	47
4.3.4 Cargas	48
4.3.5 Solventes e Diluentes.....	49
4.3.6 Aditivos	50
4.4 Principais tipos de tintas	51
4.4.1 Tipos de tintas.....	51
4.4.2 Classificação de tintas	52
Capítulo 5 - Caso Prático	55
5.1 Tintas Analisadas	55
5.1.1 Tinta 1	55
5.1.2 Tinta 2	56
5.1.3 Tinta 3	57
5.1.4 Tinta 4	57
5.1.5 Tinta 5	58
5.1.6 Tinta 6	59
5.1.7 Tinta 7	59
5.1.8 Tinta 8	60
5.1.9 Resumo das Características e das Propriedades Físicas das Tintas	60
5.2 Configuração Experimental	61
5.2.1 Provetes Individuais	61
5.2.2 Provetes para testar a permeabilidade das tintas ao radão.....	65
5.3 Detecção e medição de radão	72
5.3.1 Detetor CR39.....	73
5.3.2 Processo de revelação e contagem	75
Capítulo 6 - Resultados das Medições	81
6.1 Resultados dos detetores nos provetes individuais	81
6.2 Resultados dos detetores nos provetes da 1ª Série	82
6.3 Resultados dos detetores nos provetes da 2ª Série	83
Capítulo 7 - Conclusões	85
Referências Bibliográficas	93
Anexos	99

Lista de Figuras

Figura 1 - Distribuição etária do parque habitacional dos estados-membros da UE em 2005 [6].	3
Figura 2 - Peso da Reabilitação Residencial na Produção Total da Construção, 2009 [10].	4
Figura 3 - Estado de conservação de edifícios com necessidade de reparação, INE Censos 2001 [6].	4
Figura 4 - Fatores que influenciam a QAI [13].	6
Figura 5 - Origem da radiação a que o ser humano está sujeito [19].	15
Figura 6 - Representação do Espectro Eletromagnético [19].	16
Figura 7 - Decaimento α , adaptado de [28].	20
Figura 8 - Exemplo de um decaimento β +, adaptado de [29].	21
Figura 9 - Exemplo de um decaimento β -, adaptado de [29].	21
Figura 10 - Decaimento γ , adaptado de [29].	22
Figura 11 - Poder de penetração das radiações, adaptado de [28].	22
Figura 12 - Decaimentos radioativos desde o Urânio até ao chumbo, adaptado de [31].	25
Figura 13 - Distribuição das concentrações médias de radão em Portugal, adaptado de [32].	28
Figura 14 - Entrada de radão em edifícios, adaptado de [35].	29
Figura 15 - Propostas da relação edifício/terreno para redução do nível de radão, adaptado de [33].	31
Figura 16 - Esquema de drenagem de radão a instalar porbaixo do piso térreo de um sistema de ventilação por tiragem natural ou através de um ventilador para criar a depressão necessária, adaptado de [33].	32
Figura 17 - Conteúdo de ^{226}Ra para diversos materiais de construção, adaptado de [21].	35
Figura 18 - Pintura rupestre em Lascaux no sul de França com cerca de 35 mil anos, adaptado de [41].	37
Figura 19 - Principais componentes de uma tinta, adaptado de [44].	40
Figura 20 - Componentes de uma tinta, em percentagem do volume total, adaptado de [44].	41
Figura 21 - Impacto da proporção de volume de sólidos e de líquidos na película seca, adaptado de [44].	42
Figura 22 - Pigmentos.	47
Figura 23 - Tintas de base aquosa, adaptado de [44].	51
Figura 24 - Tinta 1.	56
Figura 25 - Tinta 2.	56
Figura 26 - Tinta 3.	57
Figura 27 - Tinta 4.	58
Figura 28 - Tinta 5.	58
Figura 29 - Tinta 7.	59

Figura 30 - Tinta 8.	60
Figura 31 - Montagem de provetes individuais em acrílico com silicone.....	62
Figura 32 - Colocação do suporte com tinta aplicada.	62
Figura 33 - Colocação de tintas nos cubos e etiquetagem.....	63
Figura 34 - Colocação de detetores CR39.	63
Figura 35 - Pormenor da referência do detetor CR39.	64
Figura 36 - Os 8 provetes individuais selados e embalagens de alumínio dos detetores CR39 para posterior armazenamento.	64
Figura 37 - Esquema do provete (unidades em centímetros).	65
Figura 38 - Perspetiva do provete.	66
Figura 39 - Exemplos de rochas emissoras de radão.....	67
Figura 40 - Suportes emoldurados.	67
Figura 41 - Montagem de provete.....	68
Figura 42 - Colagem das molduras com silicone.....	68
Figura 43 - Colocação de detetores CR39 e fonte geradora de radão B.....	69
Figura 44 - Selagem do provete com a fonte de radão C e as tintas 1 - 4.	69
Figura 45 - 1ª Série do ensaio com a Fonte A, Fonte B e Fonte C (da esquerda para a direita).	70
Figura 46 - 2ª Série do ensaio.....	71
Figura 47 - Detetor CR39 colado à tampa da respetiva câmara de difusão.	73
Figura 48 - Detetores CR39 selados após exposição.	74
Figura 49 -a) Exemplo de câmara de difusão para detetores CR39 (à esquerda) [21] e b) Esquema do corte transversal de uma câmara de difusão usada em espaços interiores (à direita) [48].....	75
Figura 50 - Etapas para determinar a concentração média de radão usando um detetor de traços, adaptado de [48].	75
Figura 51 - Detetores CR39 dentro das respetivas câmaras de difusão.	76
Figura 52 - Remoção dos detetores CR39 das câmaras de difusão.	76
Figura 53 - Unidade NanoReader Bath.	77
Figura 54 - Suporte com os detetores CR39 mergulhados na solução.	78
Figura 55 - Lavagem final do suporte com os detetores.	78
Figura 56 - Detetores CR39, secos e prontos a analisar.....	79
Figura 57 - Exemplo de Unidade NanoReader e computador com software apropriado.	79
Figura 58 - Exemplo de detetor observado ao microscópio NanoReader.	80
Figura 59 - Emissão de radão das tintas e média.....	85
Figura 60- Resultados do provete da Fonte A para a primeira série com erro médio estimado de 7 % (a vermelho), valores em Bq/m ³	87
Figura 61 - Resultados do provete da Fonte C para a primeira série com erro médio estimado de 7 % (a vermelho), valores em Bq/m ³	88

Figura 62 - Resultados do provete da Fonte A para a segunda série com erro médio estimado de 7 % (a vermelho, valores em Bq/m ³	89
Figura 63 - Resultados do provete da Fonte C para a segunda série com erro médio estimado de 7 % (a vermelho), valores em Bq/m ³	89
Figura 64 - Capacidade de impermeabilização das tintas analisadas.....	90

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Principais poluentes que afetam a QAI, fontes e efeitos, adaptado de [13].	8
Tabela 2 - Principais poluentes que afetam a QAI, fontes e efeitos (continuação) adaptado de [13].	9
Tabela 3 - Limiar de proteção e margem de tolerância para os poluentes físico-químicos segundo a Portaria n.º 353-A/2013.	11
Tabela 4 - Condições de referência para os poluentes microbiológicos segundo a Portaria n.º 353-A/2013.	11
Tabela 6 - Dose equivalente recebida por ano através de fontes naturais e artificiais, adaptado de [30].	24
Tabela 7- Propriedades físicas do Radão, adaptado de [33].	26
Tabela 8 - Valores de concentração de radão obtidos em tijolo simples e tijolo com estuque e com várias cores de pintura, adaptado de [21].	36
Tabela 9 - Tipos de aditivo, adaptado de [44].	50
Tabela 10 - Resumo das características das tintas.	60
Tabela 11 - Resumo das propriedades físicas das tintas.	61
Tabela 12 - Dados referentes aos detetores colocados nos provetes individuais.	65
Tabela 13 - Dados referentes aos detetores colocados nos provetes da 1ª Série.	71
Tabela 14 - Dados referentes aos detetores colocados nos provetes da 2ª Série.	71
Tabela 15 - Resultados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes individuais.	81
Tabela 16 - Resultados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes da 1ª série.	82
Tabela 17 - Resultados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes da 2ª série.	83

Lista de Siglas e Acrónimos

OMS	Organização Mundial da Saúde
IARC	International Agency for Research on Cancer
EU	União Europeia
INE	Instituto Nacional de Estatística
EUA	Estados Unidos da América
QAI	Qualidade do Ar Interior
USEPA	United States Environmental Protection Agency
SAB	Science Advisory Board
SED	Síndrome do Edifício Doente
S.I	Sistema Internacional
UE	União Europeia
CTN	Campus Tecnológico e Nuclear
SSNTD	Solid-state nuclear track detectors

Introdução

Na sociedade moderna o ser humano passa em média 90 % da sua vida no interior de edifícios: em casa, no local de trabalho, em escolas e em espaços públicos. Estima-se que aproximadamente 2/3 deste tempo é passado em casa. Há vários anos que a qualidade do ar interior é reconhecida como um dos fatores que mais afeta a saúde humana. Apesar das inegáveis melhorias na qualidade do ar interior nos últimos vinte anos, existem muitos perigos para a saúde associados com estes ambientes [1] [2].

O ambiente interior dos edifícios é contaminado por substâncias que, dependendo das suas características e da sua concentração, podem ter efeitos sobre o bem-estar dos ocupantes. Estes efeitos vão desde uma ligeira sensação de mal-estar até, no limite, a origem de doenças graves ou mesmo a morte. A presença destas substâncias no ambiente interior pode ter diversas origens. Estas podem ser emanadas pelos materiais que constituem o próprio edifício, bem como infiltrarem-se no edifício a partir do exterior [2].

Em 1979 a Organização Mundial de Saúde (OMS) alertou pela primeira vez, os riscos para a saúde da exposição gás radão em residências. Em 1988, o radão foi classificado como um cancerígeno humano pela Agência Internacional para a Investigação do Cancro (IARC). Atualmente, o Radão é considerado como a segunda causa de cancro do pulmão na população em geral, a seguir ao tabaco. [3].

O radão é um gás radioativo, que ocorre naturalmente, liberta-se de rochas e solos com minérios radioativos e tende a concentrar-se em espaços fechados como minas, casas e outros edifícios. A infiltração através do solo é a principal origem de concentrações em habitações, sendo outras fontes os materiais de construção e a água extraída de poços [4].

O Decreto-Lei n.º 118/2013, resulta da transposição para o direito nacional, da Diretiva n.º 2010/31/EU, referente ao desempenho energético dos edifícios. Este decreto integra num único documento o sistema de certificação energético dos edifícios e os respetivos regulamentos, e ainda, a política de qualidade do ar interior. De forma a dar cumprimento às alterações impostas pelo decreto de lei, é publicada a Portaria n.º 353-A/2013, que determina os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior. Esta portaria estabelece um limiar de proteção de 400 Bq/m³ para o Radão e a obrigatoriedade de análise de radão em edifícios construídos em zonas graníticas, nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

Não obstante do definido no artigo mencionado anteriormente, devido aos últimos dados científicos, a OMS propôs recentemente um nível de referência de 100 Bq/m³, de forma a minimizar os riscos para a saúde da exposição ao radão. A OMS refere ainda que não são conhecidos níveis de radão a baixo dos quais não existam riscos, o que significa que mesmo pequenas concentrações de radão podem aumentar o risco de cancro do pulmão. Alguns estudos apontam para um aumento do risco em 16 % por cada 100 Bq/m³, em exposições de longa duração [3] [4].

No presente trabalho será apresentado um estudo da contribuição de algumas tintas, usualmente utilizados na construção civil, para a concentração de radão em interiores.

O objectivo deste trabalho consiste na medição da emissão de radão de algumas tintas e a sua permeabilidade ao gás radão. Para esse efeito, foram fabricados oito provetes cúbicos em acrílico, sendo que em cada provete foi colocada uma tinta e um detetor passivo CR39 sensível ao radão durante 85 dias, para medir a emissão de radão de cada tinta.

Foram ainda fabricados três provetes em acrílico, em cada um destes foi colocado ao centro uma fonte de radão, com as tintas a servir de barreira entre o volume central e cada um dos quatro volumes excêntricos, nos quais também foram colocados detetores passivos CR39 sensíveis ao radão. A experiência que teve duas séries, cada uma com a duração de 23 dias.

Capítulo 1

1.1 Parque Habitacional Português

Portugal atravessou no passado recente por um “surto” construtivo de grande intensidade, tendo o sector da construção em Portugal crescido a uma taxa 10 vezes superior à média da União Europeia, devido à intensidade da produção habitacional e a uma grande expressão da construção nova. Resultado disso são as mais de 5 milhões de habitações no país, em que apenas 3.5 milhões estão ocupadas, aproximadamente 1 milhão são destinadas para férias e as restantes, meio milhão estão vazias. Atualmente, Portugal é relativamente à sua população, o país da Europa com o maior “stock” de habitações [6] [7].

O parque habitacional português é a nível internacional, um dos mais recentes da Europa, no qual cerca de 66% dos edifícios de habitação têm uma idade inferior a 40 anos. No entanto, esta elevada percentagem, não é apenas resultado de construção nova, mas também de uma diminuição abrupta de edifícios históricos. Estes sofreram uma queda de 36% entre 1981 e 1991 e mais 52% entre 1991 e 2001, devido ao elevado número de demolições e mudanças de utilização que estes edifícios têm sofrido [8] [9].

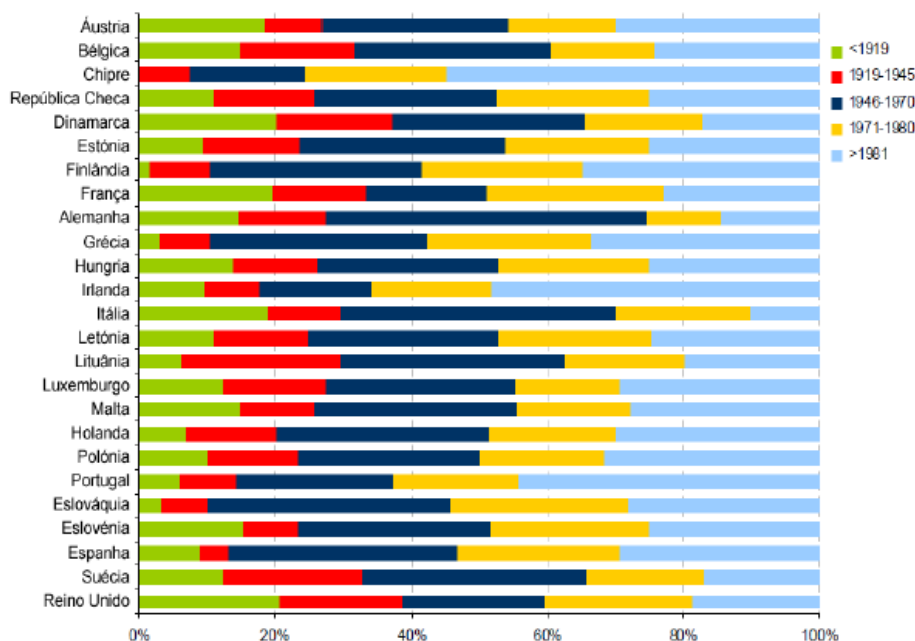


Figura 1 -Distribuição etária do parque habitacional dos estados-membros da UE em 2005 [6].

Portugal é um dos países da União europeia que apresenta uma das menores taxas de reabilitação de edifícios, com uma percentagem de 6% em contraste com taxas de 32%, 29% e 25% na Alemanha, Itália e Finlândia, respetivamente [5].

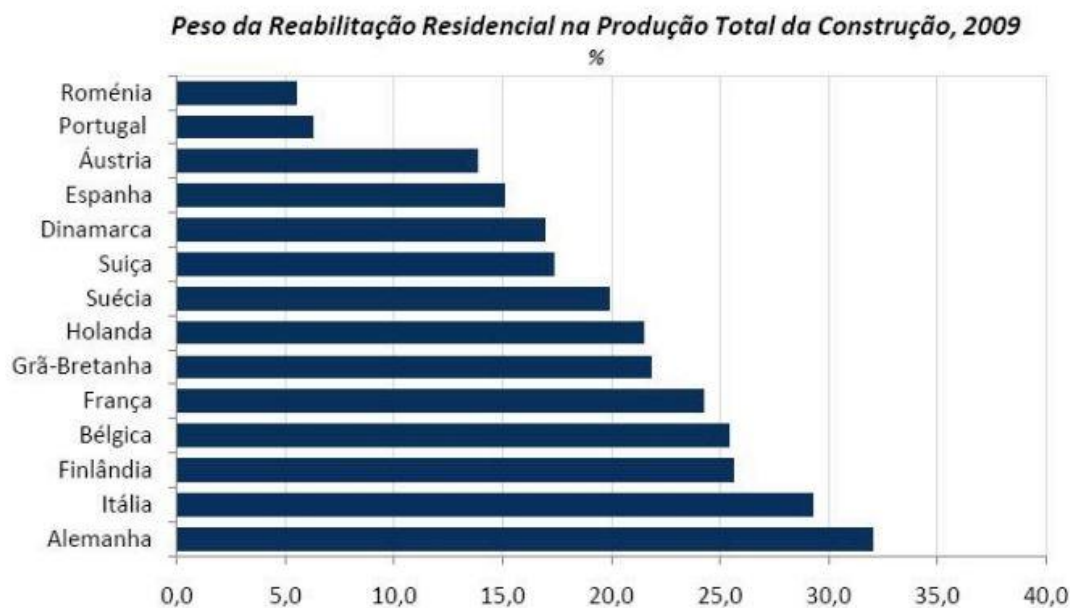


Figura 2 - Peso da Reabilitação Residencial na Produção Total da Construção, 2009 [10].

A fraca aposta na reabilitação de edifícios é uma das prováveis causas da perda dos edifícios históricos, uma vez que estes se encontram de tal forma degradados que a solução economicamente mais viável é a sua demolição. Apesar de recente o parque habitacional português, apresenta-se degradado, com cerca de 41 % dos edifícios a necessitarem de reparações.

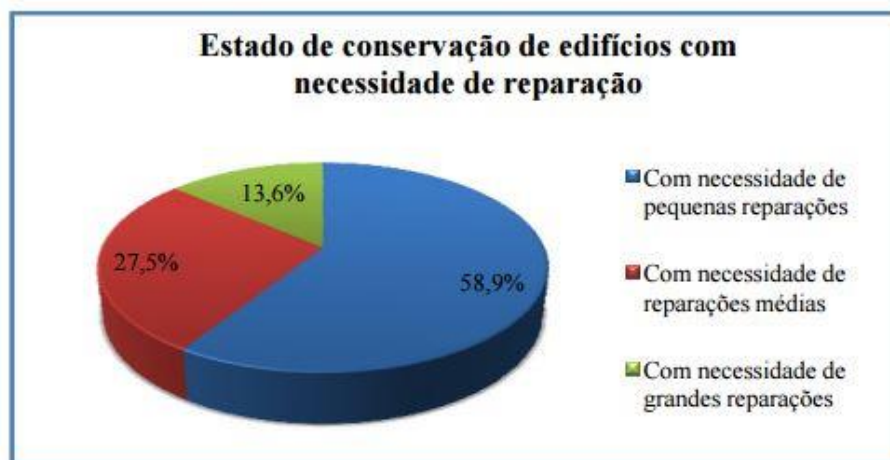


Figura 3 - Estado de conservação de edifícios com necessidade de reparação, INE Censos 2001 [6].

A análise destes dados deve ser feita com precaução uma vez que resultam da observação de inquiridores sem formação específica neste domínio e uma vez que esta avaliação foi feita tendo em conta apenas o estado exterior dos imóveis, e assim sendo há o risco de subavaliar as necessidades de reparação dos mesmos. A necessidade de reparações no parque habitacional recente, evidencia erros de projeto (42%) e erros de execução (28.40%) [9].

A crise mundial com origem nos EUA em 2008, juntamente com a saturação existente no sector imobiliário Português, trouxe uma quebra sem precedentes ao sector da construção, o que obrigou o sector a procurar soluções. A reabilitação urbana começa agora a ganhar expressão.

O radão entre outros poluentes afetam a qualidade do ar interior, estes podem se infiltrar através de fissuras em edificios pelo que seria importante que durante a reabilitação fossem tomadas medidas para prevenir ou reduzir a concentração de radão.

Os problemas do parque habitacional não podem ser resolvidos desprezando a sustentabilidade ambiental, económica ou social do mesmo, sendo para isso necessária a ligação entre a reabilitação e os parâmetros da construção sustentável.

É, deste modo, importante que o edifício responda positivamente aos indicadores de sustentabilidade durante todo o seu ciclo de renovação. Sendo, necessária a implementação de sistemas de avaliação da sustentabilidade do mesmo, com o objetivo da melhoria da sua eficiência energética e da qualidade do ar interior, bem como a diminuição do impacto ambiental local, do consumo de materiais e produção de resíduos durante a reabilitação. [11]

1.2 Qualidade do Ar Interior

A qualidade do ar interior (QAI) é um termo que se refere à qualidade do ar no interior e em redor de edifícios e estruturas, e a relação deste com a saúde e o conforto dos seus ocupantes. A qualidade do ar interior pode ser afetada por gases (monóxido de carbono, radão, compostos orgânicos voláteis), partículas contaminantes microbianas (fungos, bactérias), ou matéria particulada [12].

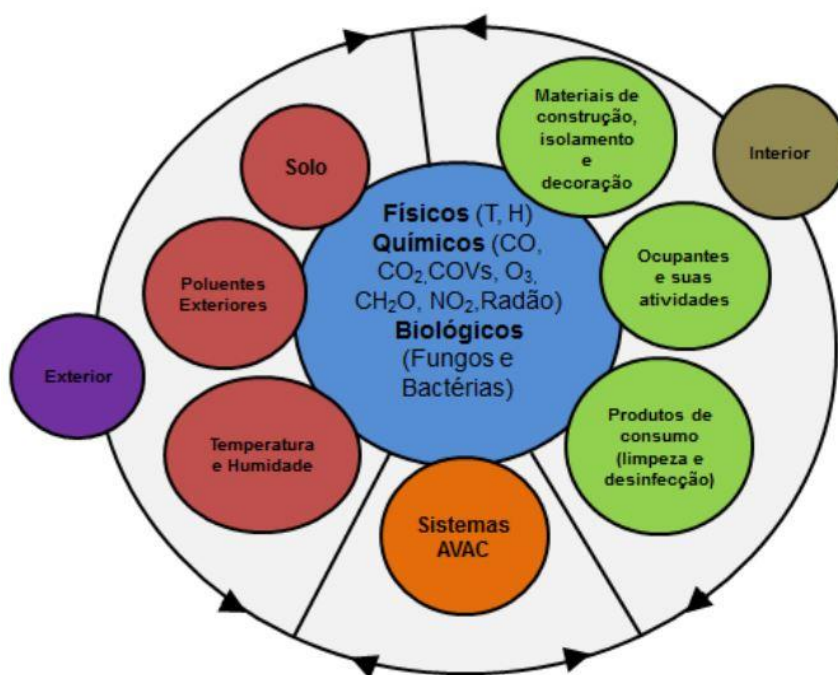


Figura 4 - Fatores que influenciam a QAI [13].

Este tema tem vindo a ganhar crescente expressão científica, técnica e social devido ao tempo que a população em geral despende no interior de edifícios. Atualmente, em média, 90 % do tempo das pessoas é passado dentro de edifícios (habitação, emprego, serviços e lazer), o que revela a importância da avaliação e controlo da qualidade do ar no interior destes [14].

A OMS considera que os problemas de QAI são importantes fatores de risco para a saúde humana, tanto em países desenvolvidos como nos países em vias de desenvolvimento. A poluição do ar interior foi recentemente classificada como um dos cinco principais riscos ambientais para a saúde pública, pela “United States Environmental Protection Agency” (USEPA) e pela “Science Advisory Board” (SAB). De acordo com a EPA, o ambiente interior é

duas a cinco vezes mais contaminado do que o ambiente exterior, referindo que em alguns casos, análises ao ar interior revelaram que este se encontra 100 vezes mais poluído [15] [16].

Nos últimos anos, o número de queixas relacionadas com a QAI têm vindo a aumentar. Isto deve-se ao aumento da densidade de edifícios e ao crescente uso de materiais sintéticos e químicos na construção e na decoração. A preocupação com a eficiência energética dos edifícios e o esforço para reduzir as perdas pela envolvente exterior, tornaram-nos mais estanques, reduzindo a ventilação natural, o que conseqüentemente levou ao aumento da concentração de ar poluído no interior [12].

Os equipamentos presentes nos edifícios (por exemplo, fotocopiadoras, impressoras laser, computadores, etc.), os produtos de limpeza e a poluição do ar exterior são outros fatores que podem afetar o ambiente interior [12].

Os sintomas na saúde que os ocupantes normalmente relatam são dores de cabeça, náuseas, fadiga, sonolência, irritação dos olhos, nariz e garganta entre outros. A OMS reconhece desde 1983 este conjunto de sintomas como Síndrome do Edifício Doente (SED)¹. Esta manifesta-se quando todos os sintomas são registados por cerca de 20% das pessoas durante um período de pelo menos duas semanas [12].

As causas das queixas dos ocupantes podem ter várias origens. O problema é muitas vezes uma combinação dos efeitos de diversos poluentes presentes em baixa concentração, juntamente com outros fatores ambientais e não uma concentração elevada de um poluente em particular. O meio mais eficiente na melhoria da QAI é, geralmente, o controlo das fontes de contaminação [12].

Os sintomas com origem em causadores de tensão ambiental (stress²), podem ser confundidos com os efeitos de uma deficiente QAI. Já a presença de odores está a maioria das vezes associada a uma deficiente QAI [12].

É importante referir que a QAI depende de uma complexa combinação de fatores: as fontes de contaminação do ar (físicas, químicas ou biológicas) e as suas interações; os materiais e a estrutura do edifício; as condições ambientais e as atividades; o comportamento e o número

¹ **Síndrome do edifício doente (SED)** - Um conjunto de sintomas relacionados com a exposição a químicos, a partículas ou a material biológico, que não podem ser relacionados com nenhuma causa específica, mas que é aliviada quando o ocupante sai do edifício. Os indivíduos relatam sintomas como dores de cabeça, náuseas, fadiga, sonolência, irritação dos olhos, nariz, garganta, etc [12].

² **Stress** - As mudanças bruscas no estilo de vida e a exposição a um ambiente cada vez mais complicado levam-nos a sentir um determinado tipo de angústia. Sentimo-nos desprotegidos e envolvidos em situações traumatizantes. Parâmetros ambientais, tais como luminosidade, ruído, vibração, ergonomia, sobre lotação e outras questões psicossociais podem afetar a percepção e a satisfação das pessoas em relação ao ambiente estabelecido e à qualidade do ar interior. Nas últimas décadas, cada vez mais pessoas sofrem de stress [12].

de ocupantes; os sistemas de aquecimento, ventilação e de ar condicionado (AVAC); a taxa de renovação de ar; e até a percepção sensorial de cada indivíduo [12].

1.2.1 Principais Poluentes que Afetam a QAI, Fontes e Efeitos para a Saúde

A tabela 1 e a tabela 2 resumem os principais poluentes que afetam a qualidade do ar interior, bem como as principais fontes e os efeitos que podem causar na saúde humana.

Tabela 1 - Principais poluentes que afetam a QAI, fontes e efeitos, adaptado de [13].

Poluente : CO (Monóxido de Carbono)	
Principais fontes	Efeitos na saúde
Processos de combustão (aquecedores, esquentadores, fogões, lareiras, braseiras) Fumo de tabaco Escape de veículos	Carboxihemoglobinemia (impede a captação de oxigênio) Dores de cabeça, Náuseas, Cansaço Efeitos no Sistema nervoso central e do sistema cardiovascular
Poluente: CO₂ (Dióxido de Carbono)	
Principais fontes	Efeitos na saúde
Ocupantes (suor/transpiração, respiração, digestão da boca, estômago e canal intestinal - Bioefluentes) Fumo de tabaco	Efeitos no Sistema nervoso central e do sistema cardiovascular Dores de cabeça, Irritação de olhos e garganta Fadiga, Falta de ar
Poluente: HCHO (Formaldeído)	
Principais fontes	Efeitos na saúde
Desinfetantes Pesticidas Produtos derivados da madeira Conservantes de madeira Espumas de isolamento Materiais de construção Mobiliário Isolantes, adesivos, colas e tintas Fumo de tabaco Material Têxtil Solventes de lacas e resinas	Irritação dos olhos, nariz, garganta e pele Problemas respiratórios Dores de cabeça Enjoos Fadiga
Poluente: COVs (Compostos orgânicos voláteis)	
Principais fontes	Efeitos na saúde
Solventes Tintas Colas, resinas e vernizes Produtos de limpeza Aglomerados de cortiça Desinfetantes, Desodorizantes, Perfumes Insecticidas, pesticidas e fungicidas Material de construção Mobiliário, Fumo de tabaco Bombas de gasolina e outras actividades	Odores Sintomas de alergia Náuseas Leucemia Cancro da pele e pulmão Olhos vermelhos Secura das mucosas do nariz e garganta Dores de cabeça Fadiga Vertigens
Poluente: O₃ (Ozono)	
Principais fontes	Efeitos na saúde
Fotocopiadoras Impressoras a laser Aparelhos de limpeza Reacções fotoquímicas Desinfetante da água	Problemas respiratórios Irritação nos olhos, Dores de cabeça Alterações da vigilância e da actuação Edema pulmonar se a exposição for prolongada ou repetida Reacções asmáticas e alérgicas Secura da boca e garganta Pressão no peito e Tosse

Tabela 2 - Principais poluentes que afetam a QAI, fontes e efeitos (continuação) adaptado de [13].

Poluente: PM10	
Principais fontes	Efeitos na saúde
Processos de combustão Ocupantes Sistema AVAC Fumo de tabaco Papel	Problemas respiratórios Olhos secos, Asma e Alergias Irritação da pele e mucosas Doenças profissionais (metais) Tosse e Espirros
Poluente: Radão	
Principais fontes	Efeitos na saúde
Solo de zonas graníticas Materiais de construção Rochas graníticas por baixo do edifício (a libertação de radão está condicionada pela permeabilidade e porosidade dos solos e rochas e também pela pressão atmosférica, temperatura e humidade)	Aumenta o risco de cancro no pulmão (o perigo é aumentado pelo facto de ser um gás não detectável pelos nossos sentidos)
Poluente: bactérias, fungos, legionella	
Principais fontes	Efeitos na saúde
Sistemas AVAC Materiais de construção e decoração, Alcatifa Pólen Zonas húmidas do edifício Pêlos, penas e excrementos de insectos Ocupantes (bactérias) Água estagnada (legionella e fungos) Ar insuflado	Alergias – rinite, sinusite, asma Infecções – tuberculose, pneumonia, criptococose Efeitos irritantes – olhos, nariz, garganta e pele Dores de cabeça Febre Irritação cutânea (fungos) Fadiga e dores musculares Doença do legionário e febre pontiac – legionella
Poluente: NO₂ (Dióxido de azoto)	
Principais fontes	Efeitos na saúde
Processos de combustão	Problemas respiratórios Irritação olhos e garganta Tosse e Cansaço Bronquite crónica
Poluente: Benzeno	
Principais fontes	Efeitos na saúde
Produtos derivados da madeira Fumo de tabaco	Cancro
Poluente: Naftaleno	
Principais fontes	Efeitos na saúde
Fumo de tabaco Naftalina	Irritação dos olhos Irritação do sistema respiratório

1.3 Legislação

Na presente dissertação apenas se apresenta a legislação aplicável, que se considera relevante ao tema.

1.3.1 Decreto-Lei n.º 118/2013

O Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, resulta da transposição para o direito nacional, da Diretiva n.º 2010/31/EU, de 19 de maio de 2010, referente ao desempenho energético dos edifícios. Este decreto integra num único documento o sistema de certificação energético dos edifícios e os respetivos regulamentos, e ainda, a política de qualidade do ar interior. De forma a dar cumprimento às alterações impostas pelo decreto de lei, é publicada a Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de dezembro que determina os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior, em edifícios de comércio e serviços novos, edifícios sujeitos a grandes intervenções e edifícios existentes e a respetiva metodologia de avaliação. Esta portaria estabelece um limiar de proteção de 400 Bq/m³ para o Radão e a obrigatoriedade de análise de radão em edifícios construídos em zonas graníticas (zonas onde ocorrem as maiores concentrações de radão), nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco [5].

1.3.2 Portaria n.º 353-A/2013

De forma a dar cumprimento às alterações impostas pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, é publicada a Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de dezembro que determina os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior em edifícios de comércio e serviços novos, edifícios sujeitos a grandes intervenções e edifícios existentes, e a respetiva metodologia de avaliação [17].

Os limiares de proteção para os poluentes físico-químicos e as condições de referência para os parâmetros microbiológicos a considerar são os previstos nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Limiar de proteção e margem de tolerância para os poluentes físico-químicos segundo a Portaria n.º 353-A/2013

Poluentes	Unidade	Limiar de proteção	Margem de tolerância (MT)[%]
Partículas em suspensão (fração PM ₁₀)	[µg.m ⁻³]	50	100
Partículas em suspensão (fração PM _{2,5})	[µg.m ⁻³]	25	100
Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVs)	[µg.m ⁻³]	600	100
Monóxido de carbono (CO)	[mg.m ⁻³]	10	-
Formaldeído (CH ₂ O)	[µg.m ⁻³]	100	-
Dióxido de carbono (CO ₂)	[mg.m ⁻³]	2250	30
Radão	[Bq.m ⁻³]	400	-

No qual:

- As concentrações em µg.m⁻³ e mg.m⁻³ referem-se à temperatura de 20° C e à pressão de 1 atm (101,325 kPa);
- Os limiares de proteção indicados dizem respeito a uma média de 8 horas;
- As margens de tolerância previstas são aplicáveis a edifícios existentes e edifícios novos sem sistemas mecânicos de ventilação;
- A análise de radão é obrigatória em edifícios construídos em zonas graníticas, nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

Tabela 4 - Condições de referência para os poluentes microbiológicos segundo a Portaria n.º 353-A/2013.

	Matriz	Unidade	Condições de referência
Bactérias	Ar	UFC.m ⁻³	Concentração de bactérias totais no interior inferior à concentração no exterior, acrescida de 350 UFC.m ⁻³ .
<i>Legionella spp</i>	Água	UFC.L ⁻¹	Concentração inferior a 100 UFC.L ⁻¹ , exceto no caso da pesquisa em tanques de torres de arrefecimento em que deve verificar-se uma concentração inferior a 1000 UFC.L ⁻¹ .
Fungos	Ar	UFC.m ⁻³	Concentração de fungos no interior inferior à detetada no exterior.

Em microbiologia, uma unidade formadora de colónia (UFC) é uma unidade usada para estimar o número de bactérias viáveis ou células fúngicas numa amostra.

1.3.3 Referenciais Europeus e Internacionais (Radão)

Desde 2007, devido a desenvolvimentos científicos recentes e a novas diretrizes internacionais, muitos países industrializados têm vindo a atualizar as suas diretrizes ou normas em relação ao radão.

A 5 de Dezembro de 2013 a União Europeia adotou a Diretiva 2013/59/Euratom, que estabelece normas de base relativamente à proteção da exposição a radiações ionizantes. Esta diretiva exige aos países membros que estabeleçam níveis de referência nacionais para o radão no ar interior e estipula que estes não podem ser superiores a 300 Bq/m³. A diretiva exige também aos países que implementem medidas preventivas para novos edifícios [18].

Esta foi a primeira vez que a União Europeia emitiu requisitos obrigatórios de proteção ao radão. A diretiva anterior relativamente à proteção de exposição a radiações ionizantes (Diretiva 96/29/Euratom) excluía especificamente a exposição ao radão da sua aplicação. Em 1990, a recomendação não vinculativa da Comissão Europeia, sugeria que deviam ser consideradas medidas corretivas quando a concentração de radão fosse superior a 400 Bq/m³, em edifícios existentes e que os novos edifícios deviam ser concebidos para que as concentrações de radão não excedessem os 200 Bq/m³. Muitos países Europeus adotaram esta recomendação nos seus regulamentos ou orientações nacionais [18].

Os países membros da UE têm até 6 de Fevereiro de 2018, para implementar a nova diretiva. Conforme a análise que se apresenta em seguida, alguns já estão em conformidade, enquanto outros não [18].

Em 2009, as autoridades da radiação da Dinamarca, Noruega, Suécia, Finlândia e da Islândia emitiram uma recomendação conjunta na qual o nível de referência para o radão em habitações deveria estar no intervalo de 100 até 200 Bq/m³, e que medidas corretivas deveriam ser promovidas para reduzir as concentrações de radão em edifícios existentes para o valor mais baixo razoavelmente possível, de preferência abaixo dos 100 Bq/m³. Também os novos edifícios deveriam ser concebidos de forma a reduzir as concentrações o máximo possível, definindo como objetivo para estes casos menos de 50 Bq/m³ [18].

Atualmente a Dinamarca recomenda ações “simples e baratas” quando as concentrações de radão excedem os 100 Bq/m³ e intervenção imediata quando estas ultrapassam os 200 Bq/m³. A Noruega estabelece os 100 Bq/m³ como nível de ação quando se trata de jardins-de-infância, escolas, habitações novas e alojamentos de aluguer. Define também como limite máximo os 200 Bq/m³. A Suécia e a Finlândia recomendam ações corretivas para concentrações de 200 Bq/m³. A Islândia determinou que não necessita de um plano de ação

para o radão, uma vez que um levantamento recente concluiu que as concentrações nas habitações eram muito baixas, sendo em média de 13 Bq/m³ [18].

Em 2010, o Reino Unido atualizou a sua orientação em relação ao radão, mantendo o nível de ação nos 200 Bq/m³ mas estabelecendo os 100 Bq/m³ como a nova meta. Atualmente a “*Public health England*” recomenda que ações de redução de concentrações de radão devem ser seriamente consideradas quando estas se encontram entre 100 Bq/m³ e 200 Bq/m³. A mesma agência recomenda inequivocamente a mitigação quando os níveis de radão excedem os 200 Bq/m³ em habitações [18].

A Alemanha recomenda que as concentrações de radão não devem exceder os 200 Bq/m³. A Bélgica e a Eslováquia adotaram níveis de referência de 100 Bq/m³ para novos edifícios [18].

Vários países-membros, incluindo a França e a Áustria ainda refletem a recomendação da Comissão Europeia de 1990 (400 Bq/m³ para edifícios existentes e 200 Bq/m³ para novos edifícios). Alguns países não estabeleceram qualquer nível de referência específico nem planos de ação em relação ao radão. Será espetável que estes países atualizem as suas políticas acerca do radão nos próximos anos, de forma a ir ao encontro da data de implementação da Diretiva 2013/59/Euratom [18].

A “*Environmental Protection Agency*” dos Estados Unidos da América mantém o nível de ação para o radão de aproximadamente 150 Bq/m³, desde os anos 80. A EPA alerta que as concentrações de radão inferiores a este nível continuam a representar um risco e recomenda que os americanos considerem ações de mitigação quando os níveis de radão sejam superiores a aproximadamente 75 Bq/m³ [18].

Muitos estados dos EUA exigem que nas transações imobiliárias, os vendedores divulguem as medições de radão, caso as mesmas sejam conhecidas. Adicionalmente, alguns estados aprovaram leis que tornam obrigatória a medição da concentração de radão em escolas e/ou creches, sendo por isso um impulsionador no mercado de certificações de radão e reparação da qualidade do ar interior [18].

A “*Radiation Protection and Nuclear Safety Agency*” da Austrália está em processo de revisão da forma de conduta relativa à proteção contra a radiação. A “*Radiation Protection Series No. 1*” da Austrália, originalmente publicada em 1995, estabelecia o nível de referência para o radão interior em 200 Bq/m³ [18].

1.3.4 Recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS)

Em 2009, a OMS efetuou uma revisão dos efeitos do radão na saúde, estudando a disponibilidade e eficiência de medidas de prevenção e mitigação do radão, as quais foram publicadas no livro “*WHO Handbook on indoor Radon*”. Esta recomenda que os países adotem os 100 Bq/m³ como nível de referência nacional, ou como a concentração média anual de radão máxima aceitável em habitações. Nos casos em que este nível de referência, não seja possível implementar devido a condicionantes específicas de um país, a OMS recomenda que o nível de referência não exceda os 300 Bq/m³ [18].

A recomendação da OMS reconhece que o objetivo é sempre alcançar níveis de radão tão baixos quanto possível, dentro do razoável, e que um nível de referência de 100 Bq/m³ é justificado de uma perspectiva de saúde pública.

Sugere ainda que os países incorporem nos códigos de construção, medidas de prevenção contra o radão e que assegurem que estes são cumpridos, mas alerta que isso não garante que as concentrações de radão serão mais baixas que o nível de referência, sendo assim, necessário efetuar testes às concentrações de radão mesmo em edifícios novos [18].

Capítulo 2 - Fundamentos da Física das Radiações

2.1 Radiações

A Radiação é caracterizada como a ação ou efeito de irradiar, significando a propagação de energia de um ponto a outro no espaço ou num meio material com uma determinada velocidade.

Esta pode ser gerada por fontes naturais ou por mecanismos construídos pelo homem, possuindo uma energia variável. A quantidade de energia permite caracterizar a radiação como ionizante ou não ionizante [19].

A radiação eletromagnética é aquela que supõe a propagação de energia através da combinação de campos elétricos e magnéticos oscilantes, e desta fazem parte as ondas de rádio, o radar, o laser, a luz, as micro-ondas, os raios X, a radiação gama, entre outras.

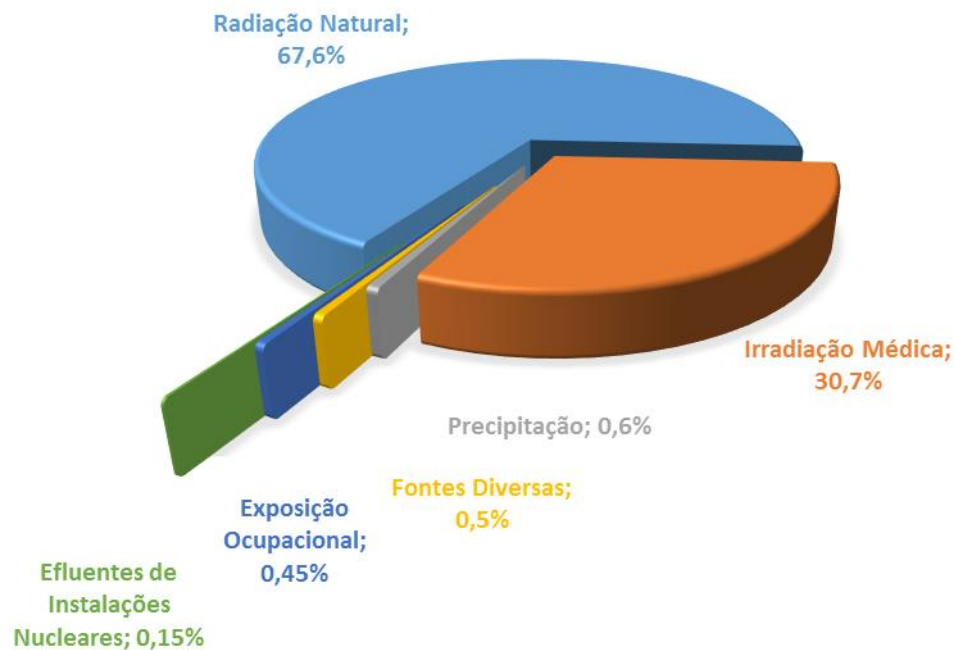


Figura 5 - Origem da radiação a que o ser humano está sujeito [19].

Ao conjunto de todas as formas de energia radiante do Universo dá-se o nome de espectro eletromagnético, Figura 6.

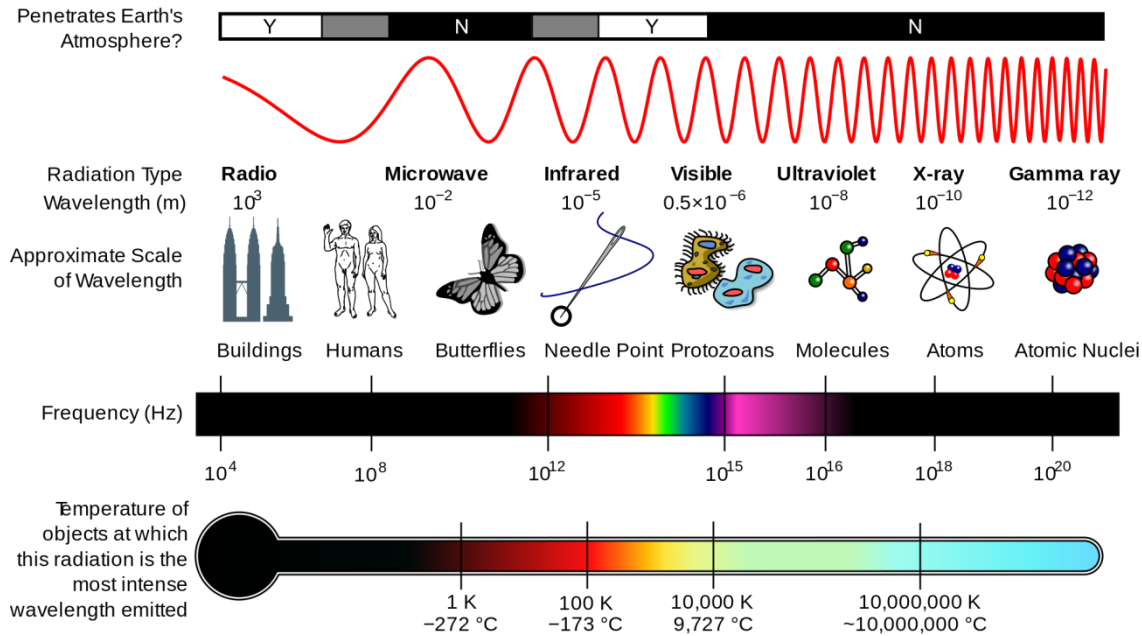


Figura 6 - Representação do Espectro Eletromagnético [19].

2.2 Fontes naturais

A radiação cuja fonte é natural designa-se por radiação de fundo. A exposição humana a esta radiação é um fator permanente na vida do quotidiano. A radiação pode chegar até ao homem através da propagação de raios cósmicos provenientes do espaço exterior ou pode ter origem nas substâncias radioativas existentes no solo, nas rochas e na água [19].

Os raios cósmicos, com origem no Sol, são partículas muito energéticas e extremamente penetrantes.

As rochas contêm também alguns minerais radioativos, como é o caso do granito, muito abundante na região Centro do nosso País.

Alguns elementos radioativos podem ser absorvidos pelas plantas ou animais que servem posteriormente para a nossa alimentação [19].

O gás Radão, ^{222}Rn , é um descendente direto do Rádio (^{226}Ra), ambos surgem do decaimento do Urânio (^{238}U) existente nos granitos [21].

Uma vez libertado do solo, este gás difunde-se na atmosfera, desintegrando-se e emitindo partículas alfa. É um gás radioativo, muito prejudicial à saúde, e que frequentemente se encontra no interior das habitações pouco ventiladas. [19]

Em Portugal o radão contribui com cerca de 60 % para a dose média de radiação externa de origem natural [21].

2.3 Fontes artificiais

A radiação artificial ou de origem tecnológica foi criada pelo homem [21]. Em 1919, Ernest Rutherford³ verificou a existência determinadas substâncias que emitiam radiações, sendo umas desviadas por campos elétricos e magnéticos e outras não. A estas partículas ele designou de radiação α (alfa), radiação β (beta) e radiação γ (gama), sendo as últimas as partículas neutras que não sofriam efeito do campo magnético [22].

As maiores fontes emissoras de radiação artificial são os equipamentos médicos, raios X, que correspondem a cerca de 18% da dose média anual de radiação recebida pelo homem. Ainda outros exemplos de radiação artificial são as centrais nucleares, lixos radioativos e até a radiação emitida por algumas televisões, sendo que a taxa de radiação emitida por essas fontes tem valores muito mais reduzidos [19].

2.4 Radiações ionizantes

A radiação ionizante é caracterizada por possuir energia suficiente para ionizar átomos e moléculas. Um átomo pode tornar-se ionizado quando a radiação colide com um dos seus eletrões. Se a colisão arrancar o eletrão do átomo, este deixa de estar neutro tornando-se num “ião positivo” porque o número de protões é maior do que o de eletrões. [21].

A ionização pode assumir duas formas - direta ou indireta. A primeira ocorre quando uma partícula carregada se movimenta na matéria, perdendo diretamente a sua energia numa ionização local, enquanto a segunda acontece quando uma partícula neutra (fotão ou neutrão), num primeiro contacto, transfere toda, ou parte, da sua energia para as partículas carregadas (eletrões, protões, partículas alfa ou beta) [21].

³ Ernest Rutherford - Nascido a 30 de agosto de 1871 em Brightwater, Nova Zelândia, foi um físico e químico neozelandês naturalizado britânico, que se tornou conhecido como o pai da física nuclear. Descobriu o conceito de meia-vida radioativa, provou que a radioatividade causa a transmutação de um elemento químico em outro, e também distinguiu e nomeou as radiações alfa e beta. Foi premiado com o Nobel de Química em 1908 “por suas investigações sobre a desintegração dos elementos e a química das substâncias radioativas” [49].

A radiação ionizante pode ser prejudicial à vida do ser humano, uma vez que mesmo a exposição a pequenas quantidades pode ter consequências graves para a saúde. A contaminação pode surgir de diversificadas formas, nomeadamente por via nasal, por ingestão ou por absorção dérmica. Por exemplo a contaminação por via nasal, pode ser bastante grave, uma vez que as substâncias radioativas gasosas transferem-se para o sangue através dos alvéolos pulmonares. A exposição a grandes quantidades pode em casos extremos levar à morte [21].

É portanto, importante o conhecimento da dose de radiação absorvida para se poderem conhecer, ou prever, os efeitos produzidos pela radiação.

A radiação ionizante é bastante útil nomeadamente em áreas como a medicina - radiologia, a indústria (agrícola, farmacêutica, engenharias e máquinas), e a arqueologia - possibilidade de determinação da idade dos fósseis a partir de material radioativo nele existente [19].

2.5 Radiações não ionizantes

As radiações não ionizantes caracterizam-se por não possuírem energia suficiente para desencadear a emissão de eletrões dos átomos, podendo no entanto, dependendo da quantidade de energia, quebrar as moléculas e as ligações químicas [21].

São exemplos de radiação não ionizante os raios infravermelhos, a luz visível, as micro-ondas e as radiofrequências.

Em comparação com as radiações ionizantes, estas geralmente apresentam menores riscos para a saúde, sendo no entanto necessário ter em atenção que, dependendo da sua intensidade e da absorção por parte dos diferentes tecidos de cada pessoa podem também ser prejudiciais à saúde [23].

2.6 Radioatividade

No ano de 1896 o físico francês Henri Becquerel⁴, estudava a emissão e a absorção de luz pela matéria. No ano anterior, o alemão Wilhelm Roentgen⁵ tinha descoberto os raios X, através de um fenómeno de fluorescência⁶. [19]

⁴ Henri Becquerel - Nascido a 15 de Dezembro de 1852, foi um físico francês, responsável pelos estudos que levaram à descoberta do fenómeno da radioatividade [53].

Durante uma experiência de como os sais de urânio são afetados pela luz (que consistia num processo inverso ao estudado pelo alemão), Becquerel descobriu, acidentalmente, que o composto de urânio quando próximo de uma chapa fotográfica envolvida em papel negro emitia, uma radiação capaz de atravessar o papel e incidir na chapa. Esta radiação era algo novo, apesar das suas semelhanças aos raios X [24].

A descoberta de Becquerel causou curiosidade e interesse a diversos cientistas, como foi o caso de Marie Curie⁷ e Pierre Curie⁸, que trabalhando nos laboratórios de Becquerel decidiram continuar os seus estudos. O método de estudo não foi o fotográfico mas sim com o uso de uma câmara de ionização, observando-se a corrente elétrica produzida, no ar, entre duas placas eletrizadas, quando se colocava um material que emita radiações entre as placas.

Em julho de 1898, o casal descobriu um elemento mais radioativo do que o Urânio, ao qual deram o nome de Polônio e em janeiro de 1899, descobriram outro elemento, nomeando-o de Rádio, sendo este o mais radioativo de todos os estudados [25].

Foi Marie Curie quem cunhou o termo “radioatividade”, ao perceber que este fenómeno não ocorria apenas no Urânio. No entanto, ainda não havia suspeita de que a radioatividade acarretava transformações de um elemento químico em outro.

A radioatividade consiste na transformação de um núcleo atômico acompanhada da emissão de partículas ou de radiação eletromagnética, podendo chamar-se também a este processo de decaimento [26]. O núcleo resultante pode ser estável ou pode continuar a ser radioativo.

A ocorrência de um processo de decaimento de um núcleo acontece de forma aleatória, pois trata-se de um processo estatístico, sendo apenas possível determinar a probabilidade de acontecer um decaimento, apesar de não ser possível determinar uma data em concreto para tal acontecer [19].

⁵ **Wilhelm Conrad Röntgen** - Nascido a 27 de março de 1845 foi um físico alemão que, em 8 de novembro de 1895, produziu radiação eletromagnética nos comprimentos de onda correspondentes aos atualmente chamados raios X [50].

⁶ **Fluorescência** - A fluorescência é a emissão de luz por uma substância que absorveu luz ou outra radiação eletromagnética.

⁷ **Marie Skłodowska Curie** - Nascida em Varsóvia, a 7 de novembro de 1867, foi uma cientista polaca com naturalização francesa que conduziu pesquisas pioneiras no ramo da radioatividade. Foi a primeira mulher a ser laureada com um Prémio Nobel e a primeira pessoa e única mulher a ganhar o prémio duas vezes. As conquistas de Marie incluem a teoria da radioatividade, técnicas para isolar isótopos radioativos e a descoberta de dois elementos, o polônio e o rádio [51].

⁸ **Pierre Curie** - Nascido em Paris, a 15 de maio de 1859, foi um físico francês, pioneiro no estudo da cristalografia, magnetismo, piezoelectricidade e radioatividade. Recebeu o Nobel de Física de 1903, juntamente com a sua mulher Marie Curie “em reconhecimento pelos extraordinários serviços que ambos prestaram através das suas pesquisas conjuntas sobre fenómenos da radiação descobertos pelo professor Henri Becquerel” [52].

Nos primeiros estudos sobre radioatividade foram identificados três tipos de decaimento dos núcleos [19]:

- Decaimentos α , que consiste na emissão de partículas α ;
- Decaimentos β^- e β^+ , que consiste na emissão de elétrons ou pósitrons;
- Decaimentos γ , que consiste na emissão de fótons de energia elevada.

2.6.1 Decaimentos α

As partículas alfa (α), são núcleos de Hélio (${}^4_2\text{He}$), contêm dois prótons e dois nêutrons. São partículas pesadas e pouco penetrantes, sendo altamente ionizantes devido à energia que possuem. [27].

Quando um isótopo radioativo emite uma partícula alfa, o seu número de massa (A) diminui 4 unidades e o seu Z diminui 2 unidades [27].

Por serem altamente energéticas, as partículas alfa perdem praticamente toda energia em cada ionização, o que provoca uma redução, repentina, da sua velocidade [27].

Sendo o alcance destas partículas muito pequeno, são facilmente absorvidas, até mesmo por uma folha de papel [27].

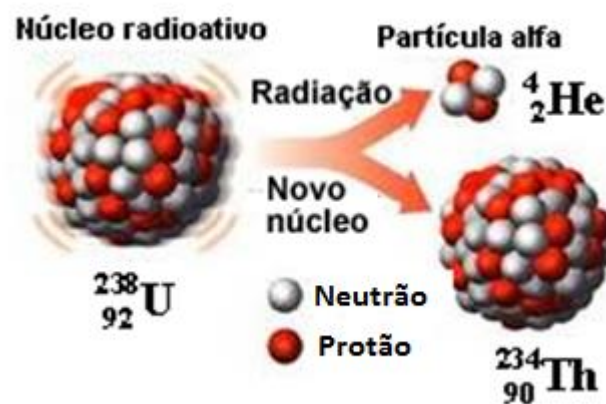


Figura 7 - Decaimento α , adaptado de [28].

Visto que estas partículas não conseguem ultrapassar as camadas externas das células mortas da pele do ser humano, pode considerar-se que não constituem nenhum perigo aparente quando a sua emissão ocorre fora do organismo do ser humano. No entanto, no caso de provirem de fontes internas ao organismo, tendo sido absorvidas, por exemplo, através das vias respiratórias ou por ingestão, podem tornar-se muito perigosas [28].

2.6.2 Decaimentos β

As partículas beta (β) são partículas com carga negativa (elétrões) ou positiva (positrão) emitidas pelo núcleo. A sua maior leveza e rapidez em relação às partículas alfa, faz com que estas penetrem mais profundamente na matéria [19].

No processo de decaimento beta, um núcleo decai espontaneamente, emitindo um elétron ou um positrão (antipartícula do elétron). Quando emite um elétron, o processo designa-se por decaimento β^- , e quando emite um positrão, o processo designa-se por decaimento β^+ [19].

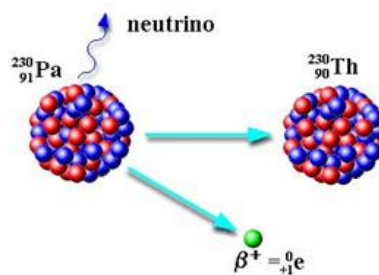


Figura 8 - Exemplo de um decaimento β^+ , adaptado de [29].

Este ocorre quando há um excesso de prótons :

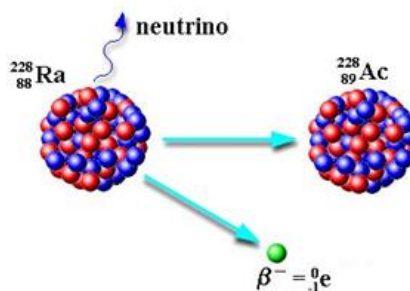
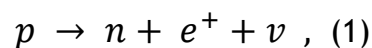
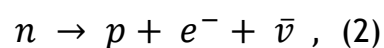


Figura 9 - Exemplo de um decaimento β^- , adaptado de [29].

Este ocorre quando há um excesso de nêutrons :



Este processo de decaimento é menos ionizante do que o processo de decaimento das partículas alfa, e assim sendo, são necessárias barreiras mais espessas para isolar a radiação beta [27].

2.6.3 Decaimentos γ

A emissão de radiação gama, γ ocorre, em geral, simultaneamente com o decaimento alfa ou beta. Com o objetivo de atingir a estabilidade, o nuclídeo resultante emite a sua energia em excesso sob a forma de radiação γ [27].

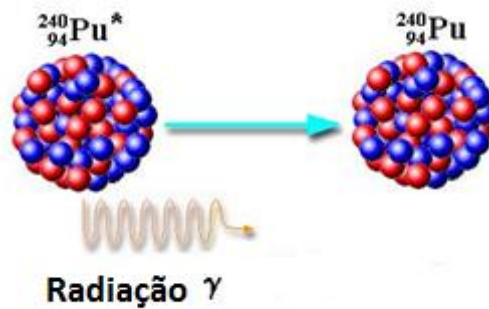


Figura 10 - Decaimento γ , adaptado de [29].

A radiação gama é constituída por fótons, por não possuírem carga nem massa conseguem penetrar mais profundamente na matéria, podendo atravessar o corpo humano. Conseguem quase inteiramente ser absorvidas por uma parede de betão com espessura de 1m ou por uma parede de chumbo de espessura de 3 cm, conseguindo ainda atravessar vários tecidos e órgãos sem depositar energia [27].

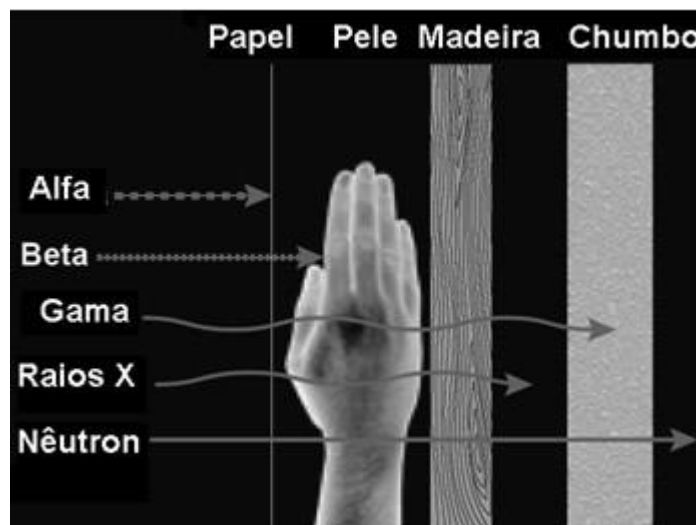


Figura 11 - Poder de penetração das radiações, adaptado de [28].

2.7 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, sendo várias as grandezas associadas à radiação, das quais importa mencionar [30]:

2.8.1 Atividade

A atividade é uma grandeza radiológica representa o número de desintegrações por unidade de tempo, traduzindo-se pela seguinte equação:

$$A = \frac{dN}{dt} , \quad (3)$$

A unidade de atividade no S.I. é o Becquerel (Bq), que equivale a uma desintegração por segundo, onde N representa o número de núcleos decaídos numa amostra [30].

2.8.2 Dose Absorvida

Uma vez que os efeitos biológicos e químicos da exposição dos tecidos à radiação dependem da energia absorvida pelos mesmos 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 [30].

$$D = \frac{dE}{dm} , \quad (4)$$

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

2.8.3 Dose Equivalente

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 [30].

A unidade de dose equivalente no S.I. é o Sievert (Sv). A dose equivalente resulta do produto entre a dose absorvida (D) e o fator de qualidade (Q) [30].

$$H = D \times Q , \quad (5)$$

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 e nas partículas alfa atinge o valor 20 [30].

A tabela 6 apresenta a dose equivalente, recebida por ano através de fontes naturais e fontes artificiais.

Tabela 5 - Dose equivalente recebida por ano através de fontes naturais e artificiais, adaptado de [30].

	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 3 - Radão e a Saúde

3.1 Radão

O Radão é um gás radioativo, de origem natural, cujos átomos se desintegram originando outros elementos radioativos, causando todos eles exposição do Homem a radiações ionizantes [32].

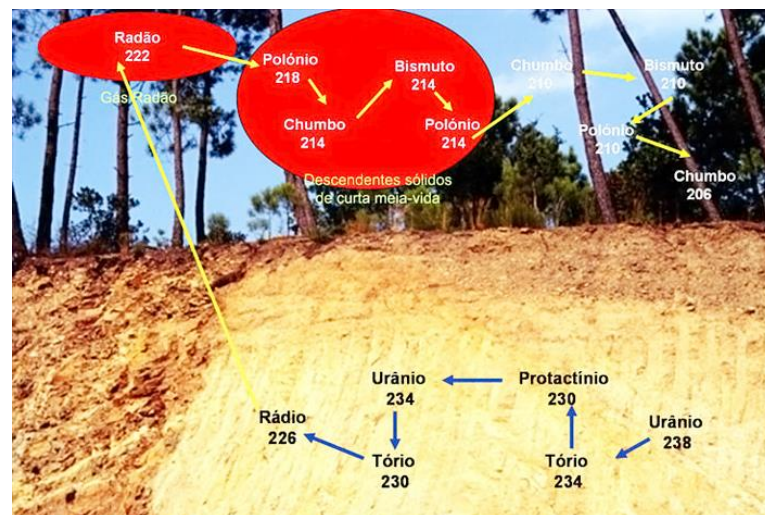


Figura 12 - Decaimentos radioativos desde o Urânio até ao chumbo, adaptado de [31].

Este gás é indetetável aos sentidos humanos, uma vez que é inodoro, incolor e insípido.

O radão provém do Urânio (^{238}U) e de Rádio (^{226}Ra) presentes nos solos, rochas e consequentemente, nos materiais de construção [32].

Sendo ligeiramente mais denso do que o ar, o gás radão tem tendência a acumular-se nos pisos em contacto com o solo.

A distribuição de urânio e rádio nas rochas e solos não é uniforme, sendo que as concentrações mais elevadas ocorrem geralmente em rochas graníticas (plutónicas) contrariamente às rochas sedimentares como os calcários onde ocorrem concentrações mais baixas [32].

O processo de exalação, que consiste na libertação de radão para a atmosfera, está ainda condicionada por outros fatores relacionados com as características dos solos e das rochas, nomeadamente a sua permeabilidade, bem como alguns parâmetros meteorológicos como a pressão atmosférica, a humidade e a temperatura [33].

A concentração de radão na atmosfera não é uma constante, variando com as características de cada região.

Apresenta-se na tabela 7 algumas das suas propriedades físicas:

Tabela 6- Propriedades físicas do Radão, adaptado de [33].

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

O radão apresenta vários isótopos (átomos cujo núcleo tem o mesmo número atómico Z), sendo os três principais [33]:

- Radão (²²²Rn) resultante do decaimento do urânio;
- Actinão (²¹⁹Rn) originado pela desintegração do actínio;
- Torão (²²⁰Rn) produto do decaimento do tório.

Tanto o actinão como o torão apresentam meia-vidas curtas, devido à sua capacidade de difusão limitada, uma vez que a desintegração dos seus átomos demora apenas cerca de 4 segundos e de 56 segundos, respetivamente, valores muito inferiores à do radão, o que faz com que o seu perigo seja muito reduzido [21].

Por outro lado o radão, que constitui mais de 99% do urânio, tem uma meia-vida de aproximadamente 3,82 dias, tempo suficiente para se difundir através das microfendas das rochas e do solo e atingir a atmosfera, tornando-se o principal responsável (mais de 50%) pela radioatividade junto à superfície da Terra, requerendo assim alguma atenção pelos seus riscos [33].

3.2 Exposição e Risco radiológico

O radão é o principal contribuinte para a exposição da população às radiações ionizantes, de origem natural e artificial.

O risco radiológico associado a este gás deve-se, sobretudo, aos seus descendentes diretos, que são gerados por sucessivos decaimentos, tais como o polónio, o bismuto e o chumbo. Estes isótopos são partículas sólidas, formadas no ar, e que ao serem inalados irradiam os tecidos do pulmão, principalmente o polónio que, ao entrar nos mesmos, através das vias respiratórias, é o responsável pela deposição de energia nas células dos vários epitélios do aparelho respiratório.

Os danos provocados nos tecidos pulmonares pelas radiações emitidas por estes radionuclídeos aumentam o risco de desenvolvimento do cancro do pulmão [31] [32].

A *Environmental Protection Agency* (EPA) dos Estados Unidos refere que 1 a 3 em cada 100 pessoas que, durante a sua vida respirem ar com concentrações de radão superiores a 150 Bq/m³ correm o risco de ser afetadas por cancro do pulmão. Refere ainda que este risco se agrava no caso de as pessoas serem fumadoras, uma vez que o tabaco é o principal causador do cancro do pulmão.

Sendo o gás radão prejudicial à saúde, é factor de preocupação por parte de diversas entidades em todo o mundo, existindo várias normas que referem os limites máximos para a concentração de radão no interior das habitações [31].

a Portaria n.º 353-A/2013, que determina os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior. Esta portaria estabelece um limiar de proteção de 400 Bq/m³ (400 desintegrações por segundo por metro cúbico) para o Radão e a obrigatoriedade de análise de radão em edifícios construídos em zonas graníticas, nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco. [17]

3.3 Concentrações de Radão em Portugal

De acordo com um estudo realizado pelo Instituto Tecnológico e Nuclear, envolvendo a medição de radão no ar interior de 4200 habitações em Portugal, verificou-se que cerca de 60% das concentrações de radão se situam abaixo de dos 50 Bq/m³. Em 2.6% das habitações controladas, eram ultrapassados os valores máximos recomendados pela legislação portuguesa de 400 Bq/m³. Outro estudo realizado em Portugal estima que, só na zona norte de Portugal, o radão esteja associado a 18 a 28% dos casos de cancro do pulmão, provocando em média cerca de 200 mortes/ano [32].

No mapa que se apresenta seguidamente pode analisar-se a distribuição dos valores encontrados para este estudo, encontrando-se a verde os valores médios mais reduzidos, a amarelo valores intermédios e a vermelho os valores mais elevados, sendo que os últimos se encontram em casas situadas em regiões graníticas [32].

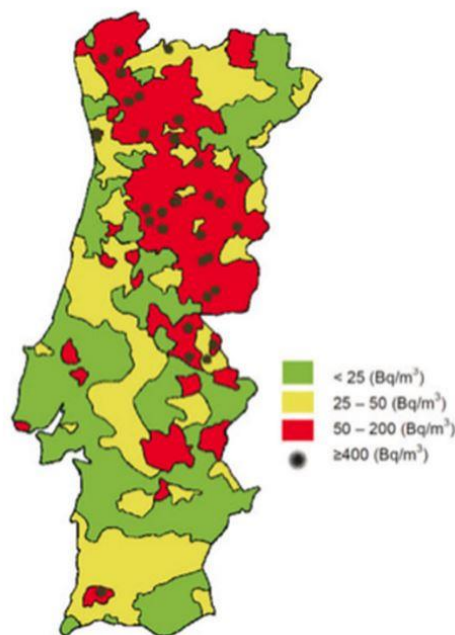


Figura 13 - Distribuição das concentrações médias de radão em Portugal, adaptado de [32].

3.4 Radão nos edifícios

A concentração do radão no interior dos edifícios está relacionada com as concentrações de urânio e rádio no solo e subsolo sob a construção, bem como das vias de infiltração daquele gás e, ainda, da ventilação natural do próprio edifício [34].

A entrada de radão num edifício ocorre sobretudo através das fissuras nas lajes em contacto com o solo, através das juntas de canalizações mal vedadas, ou fendas nas fundações e nas paredes, e acumulam-se sobretudo em áreas com pouca ventilação [22].

Por outro lado, se a água utilizada na habitação for proveniente de um furo, o radão pode entrar através do abastecimento, não apenas quando é consumida, mas também ao evaporar-se quando é aquecida. Em menor proporção, os materiais de construção podem também contribuir para o aumento das concentrações de radão [22].

O gás radão tende a acumular-se nas zonas mais baixas (caves e pisos térreos) pois é oito vezes mais denso do que o ar [22].



Figura 14 - Entrada de radão em edifícios, adaptado de [35].

O radão entra no edifício, através de vários mecanismos:

- **Advecção** - movimentos causados pelas diferenças de pressão que existem entre o solo e o interior do edifício;
- **Difusão** - movimentos devidos a um gradiente de concentração de radão entre o solo e o interior do edifício;
- **Infiltração** - o ar exterior entra no edifício por portas ou janelas, trazendo consigo uma certa concentração de radão com variações diurnas e sazonais.

Em espaços interiores o radão tende a acumular-se alcançando concentrações que podem ser muito superiores às concentrações de radão na atmosfera exterior da mesma região [36].

3.5 Medidas de mitigação do radão no interior dos edifícios

Com o intuito de estudar soluções que visem a redução da contaminação radioativa provocada pelo gás radão no interior dos edifícios, devem ter-se em consideração [21]:

- A cadeia de decaimento devido às reações físicas da transformação atômica do urânio (^{238}U) até ao radão (^{222}Rn) e dos seus descendentes até formar o chumbo estável (^{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.

Analisando estes fatores é possível a aplicação de técnicas e soluções arquitetónicas e construtivas de modo a minimizar a mitigação do radão para o interior dos edifícios.

Nos locais onde a geologia e a estrutura física do solo potenciam elevados teores de radão no interior dos mesmos, as intervenções a realizar de forma a minimizar os riscos, baseiam-se em dois princípios:

- No planeamento territorial ao nível do PDM, Planos de Urbanização e Planos de Pormenor, com delimitação das zonas de risco de acordo com as condições de contaminação radioativa e com as taxas de radão esperadas;
- Nas estratégias de projeto, nomeadamente nas soluções construtivas adotadas, bem como nos sistemas de ventilação, com o objetivo de criar adequadas condições no interior dos edifícios que permitam a redução do risco de exposição ao radão, mantendo a concentração deste gás abaixo dos limites admissíveis [37].

3.5.1 Soluções Construtivas para edifícios novos

Para as habitações e edifícios a construir, é de grande importância o cuidado com a implantação da estrutura no terreno e a escolha adequada de materiais, privilegiando os que apresentam baixos teores de radioatividade natural [32].

Todas as soluções arquitetónicas e construtivas que reduzam o contacto do edifício com o solo, que evitem as infiltrações de radão e que facilitem a sua difusão para a atmosfera, contribuem para reduzir o risco da obtenção de concentrações elevadas e perigosas no interior do mesmo [37].

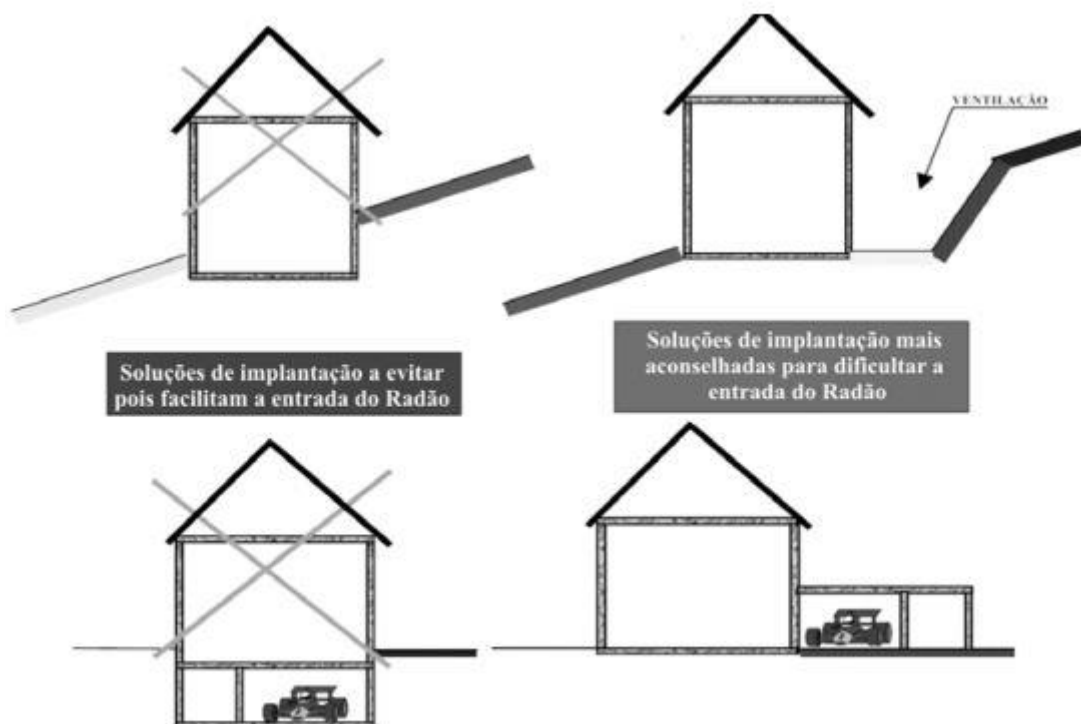


Figura 15 - Propostas da relação edifício/terreno para redução do nível de radão, adaptado de [33].

3.5.2 Soluções Construtivas para edifícios já existentes

No caso de edifícios já existentes, existem técnicas de reabilitação de fácil aplicação de forma a reduzir os níveis de radiação emitidos pelo radão tais como [33]:

- Selar as fendas existentes nos pavimentos ou juntas de tubagens, de modo a impedir a passagem do radão do solo para a zona ocupacional;
- Melhorar as condições de ventilação natural do edifício, sobretudo da zona entre o piso térreo e o terreno.

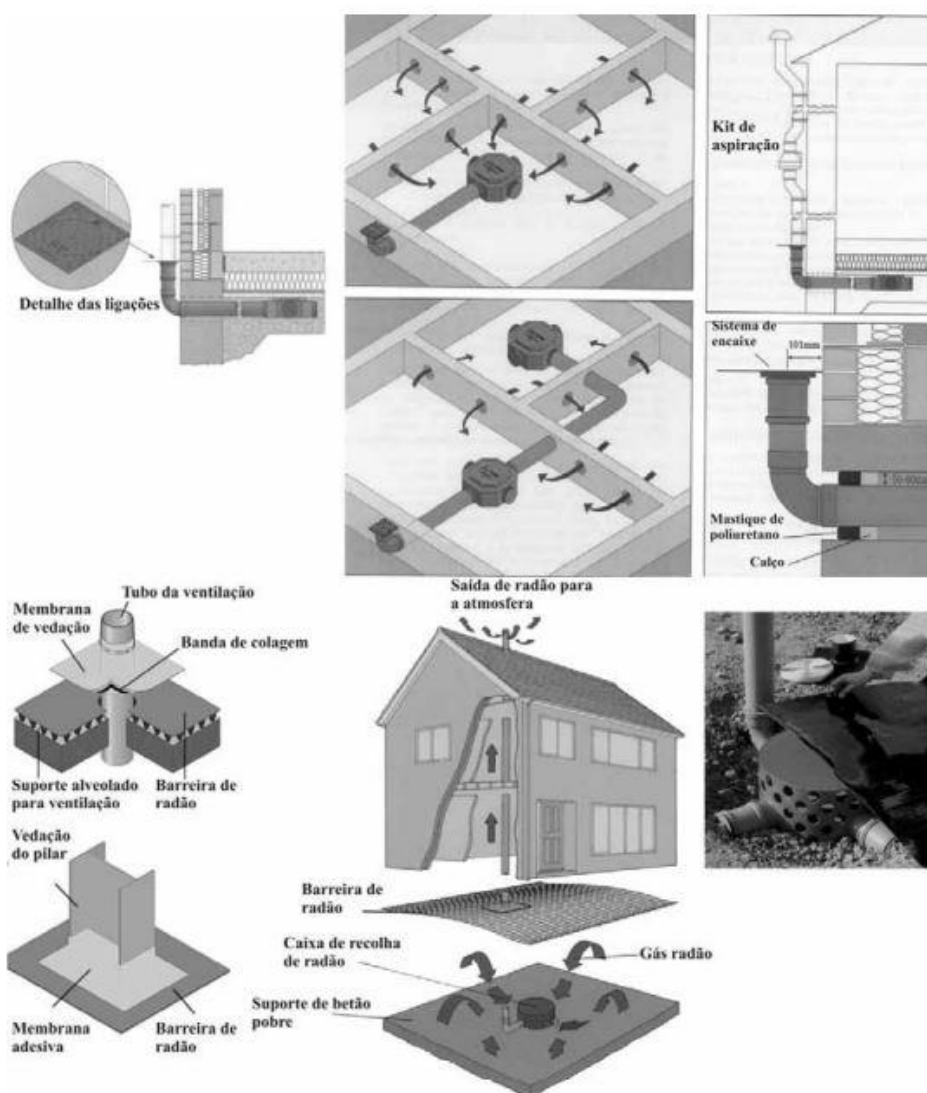


Figura 16 - Esquema de drenagem de radão a instalar porbaixo do piso térreo de um sistema de ventilação por tiragem natural ou através de um ventilador para criar a depressão necessária, adaptado de [33].

Se estas medidas não se mostrarem suficientemente eficazes, poder-se-ão adotar outras medidas corretivas, nomeadamente:

- Colocação de barreiras impermeáveis ao ar (radão) nas paredes e pisos em contacto com o solo;
- Recurso a sistemas de ventilação mecânica, de modo a reduzir a pressão existente no espaço subjacente à construção.

O custo de implementação destas medidas de mitigação, quando previstas em projeto, é bastante reduzido e apresenta muitas vantagens em termos de saúde para os utentes do edifício.

É de notar que antes de empreender tais medidas é importante o conhecimento das concentrações de radão existentes no interior dos edifícios, sendo para tal necessária a realização de um diagnóstico da situação efetuado com recurso a detetores de radão [32] [37].

3.6 Radão em materiais de construção

O radão apresenta-se no nosso país como um problema de risco elevado devido à grande quantidade de rochas graníticas existentes em Portugal [38].

Tal como já mencionado anteriormente nesta dissertação, fazem parte dos distritos mais críticos Coimbra, Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu, Castelo Branco e Portalegre.

Apesar dos vários estudos para medição de radão em habitações já levados a cabo nos diferentes distritos, estes não permitem contudo pormenorizar qual a parte que diz respeito aos materiais de construção e qual a parte correspondente ao radão proveniente do solo, uma vez que sendo estas zonas graníticas, grande parte das habitações foram construídas aproveitando esta matéria-prima, quer ao nível de alvenarias quer também como revestimento de pisos [38].

A dose de radiação derivada de materiais de construção pode chegar a 60% da dose total de radiação recebida pelo homem, sendo que esta varia de acordo com a própria radioatividade do material, ou seja, com a sua natureza e procedência.

Muitos materiais de construção contêm pequenas quantidades de substâncias radioativas. Uma vez que a maior parte são originados por matérias-primas provenientes dos solos e das rochas, contêm radionuclídeos naturais como o Urânio (^{238}U) ou o tório (^{230}T) e ainda os produtos dos seus decaimentos, bem como isótopos radioativos de potássio.

É importante portanto observar os níveis de ação que limitam a exposição dos materiais nos ambientes, para que se possa verificar se estes devem ser usados na construção.

O nível de ação está relacionado com a alta dose efetiva dos radionuclídeos naturais, o que significa que se os materiais forem compostos por esses radionuclídeos, terão o índice de concentração de atividade maior que o nível de ação.

O índice de concentração de atividade, I , é usado para avaliar se o nível de ação é excedido e determina-se a partir da concentração de atividade medida nos materiais de construção, tendo como base a concentração da atividade do rádio, na série de decaimento do urânio, do tório e do potássio. Caso o índice de concentração de atividade seja superior a 1, torna-se necessário avaliar o nível de radiação emitido. Se o índice de concentração de atividade for igual ou inferior a 1, considera-se que o material pode ser usado sem restrições [40].

O índice de concentração de atividade nos materiais de construção é dado pela equação 5, 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 [40]:

$$I = \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_K}{3000}, (5)$$

Os cimentos e as britas utilizadas na construção apresentam valores variáveis de ^{226}Ra , dependendo das rochas que os originaram. As estruturas de madeira contêm o mais baixo potencial de emissão de radão [40].

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 selecionados de forma a minimizar o risco, principalmente nas zonas geológicas em que este é elevado [40].



Figura 17 - Conteúdo de ^{226}Ra para diversos materiais de construção, adaptado de [21].

Observando os valores indicados na figura 17 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 $590,9 \pm 49 \text{ Bq/m}^3$.

Recentemente, outros estudos 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) [21].

Tabela 7 - Valores de concentração de radão obtidos em tijolo simples e tijolo com estuque e com várias cores de pintura, adaptado de [21].

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

Em termos de revestimentos 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.

Capítulo 4 - Tintas

4.1 Breve História das Tintas

A evidência mais antiga da utilização de tintas pelo Homem pode ser encontrada no sul de França. É a mais antiga pintura rupestre conhecida e terá cerca de 35 mil anos. Como estas tintas eram aplicadas no interior de cavernas e abrigos rochosos, e assim, protegidas das intempéries, ainda hoje é possível encontrar exemplos, inclusivamente em Portugal.

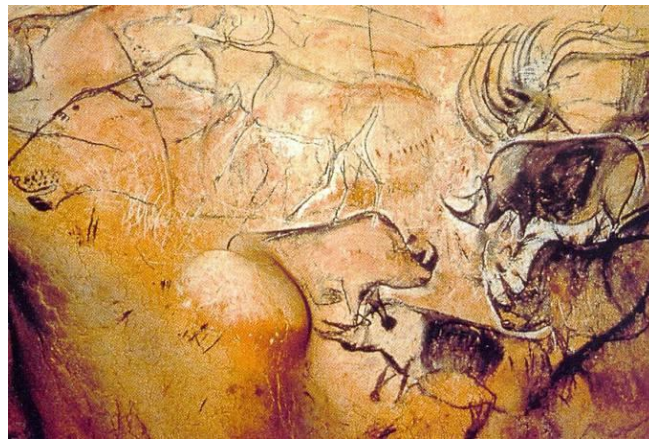


Figura 18 - Pintura rupestre em Lascaux no sul de França com cerca de 35 mil anos, adaptado de [41].

Já então, os constituintes de base de uma tinta eram um ligante (gordura animal) e um pigmento corado. Ao longo dos tempos os produtos utilizados no fabrico de tintas foram evoluindo, até originar os produtos que hoje apresentam um elevado grau de sofisticação, os quais mantêm os mesmos constituintes base [42].

Cerca de 4000 A.C., os europeus começaram a usar as primeiras tintas para a construção civil: queimavam pedra calcária, misturavam-na com água e aplicavam a cal resultante às suas casas de barro para as protegerem e decorarem [42].

Entretanto os chineses já tinham desenvolvido a arte de fabricação de lacas, a partir de seiva de árvores, com diversas aplicações, incluindo como revestimentos de proteção, sendo estes considerados os verdadeiros antecessores dos revestimentos modernos [42].

Na Índia, a goma-laca (extraída da secreção de um inseto), era utilizada na preparação de um verniz para proteger e embelezar objetos e superfícies de madeira [42].

O primeiro pigmento obtido por via sintética, o azul do Egipto (um silicato de cobre), foi concebido há cerca de 3000 anos A.C., altura em que o uso de vernizes e esmaltes feitos a partir de cera de abelha, gelatina e argila, era corrente no Egipto. Posteriormente, surgiram revestimentos de barcos de madeira com pez e bálsamo, que eram à prova de água. Cerca de 1000 anos A.C. eram preparados vernizes a partir de goma arábica, que é uma resina natural utilizada como espessante e estabilizante [42].

Pigmentos de outras cores foram introduzidos à medida que as civilizações egípcia, grega e romana se desenvolviam.

Há aproximadamente 1200 anos, a civilização Maia usava um pigmento azul (Azul Maia) à base de substâncias naturais, argila e índigo (derivado orgânico de uma planta). A sua durabilidade é notável após centenas de anos de exposição sob condições húmidas. Testes recentes atestam a sua elevada resistência à biodegradação e à ação de ácidos, álcalis e solventes químicos [43].

Com a revolução industrial surgem na Europa as primeiras fábricas de produção de tintas, o devido ao rápido avanço tecnológico, criou novos e vastos mercados e levou ao desenvolvimento de novos revestimentos [44].

Foi apenas no século XX que se deu um grande incremento na indústria de tintas e vernizes. Este avanço deve-se principalmente à necessidade de proteger os materiais. Novas formulações e processos de aplicação resultaram em tempos de secagem mais curtos, com a consequente aceleração do processo de pintura. O rápido avanço da química e da tecnologia dos polímeros tornou possível a elaboração de substâncias para a formulação de películas e o desenvolvimento da química de pigmentos [44].

Nos últimos anos, foram publicados regulamentos relacionados com o ambiente, a saúde e a segurança, exemplo disso são regulamentos relacionados com partículas de pó de decapagem abrasiva, emissão de compostos orgânicos voláteis (COV) e materiais perigosos como o chumbo e outros metais pesados. Para cumprir com os novos regulamentos, os fabricantes de tintas reformularam os seus produtos, o que levou ao desenvolvimento de uma larga gama de materiais de pintura de alta tecnologia, que são mais sensíveis à preparação das superfícies e às técnicas ambientais de aplicação [44].

A investigação e desenvolvimento de produtos com menor impacto no ambiente e na saúde humana revelou a necessidade de alterar a composição dos sistemas. O teor de solventes das tintas foi altamente reduzido, a título de exemplo, nas tintas de altos teores de sólidos este teor pode ser de apenas 15%, através do aumento da fração de sólidos, mantendo no entanto a viscosidade e as propriedades de aplicação. As tintas de base aquosa são muitas vezes usadas em detrimento das de base solvente e alguns produtos, tais como, as tintas em pó e as de cura UV são isentos de solvente [42].

Na atualidade, as tintas, vernizes ou produtos similares são constituídos maioritariamente por componentes obtidos industrialmente e são utilizados nos mais variados materiais. A utilização destes produtos pode ter vários objetivos, que vão desde a estética, como decoração ou para melhorar o aspeto de superfícies ou objetos, até à utilização para a proteção do substrato, ou para melhorar as condições ambientais ou ainda segurança na utilização, ou para introduzir características específicas (resistência a micro-organismos, resistência química, resistência mecânica, etc.), sendo muitas vezes utilizadas com vários objetivos em simultâneo [44].

4.2 Tintas

As tintas constituem um dos diversos tipos de materiais de revestimento utilizados na construção civil. Os custos competitivos que estas apresentam quando comparadas com os restantes materiais de revestimento, os métodos de fabrico e aplicação, bem como a evolução tecnológica e as características que podem conferir ao material onde são aplicadas, são fatores que contribuem para elevado grau de utilização das mesmas na construção civil, para o revestimento de superfícies [45].

A norma ISO 4618 define produto de pintura como “um produto líquido, em pasta ou em pó que, aplicado sobre um substrato, forma uma película protetora, decorativa e/ou outras propriedades específicas” [45].

Os produtos de pintura podem ser pigmentados ou não. Quando estes são pigmentados designam-se por tintas e caracterizam-se por darem origem a uma película opaca, que cobre totalmente o substrato. No segundo caso designa-se por verniz, e caracteriza-se por formar uma película sólida, transparente, dotada de propriedades protetoras, decorativas e/ou propriedades específicas [45].

O revestimento por pintura é o resultado da aplicação de um esquema de pintura que consiste, segundo a norma ISO 4618, numa “combinação de camadas de material de pintura que são aplicadas num substrato”. O sistema pode ser caracterizado pelo número de camadas aplicadas, dando origem a revestimentos de monocamada ou de multicamada [45].

O objetivo da aplicação de um esquema de pintura num determinado substrato é obter, após secagem, um revestimento multifuncional, ou seja, um revestimento que melhore o aspeto visual e em simultâneo, proteja o substrato, ou ainda por razões especiais, como para contribuir para a melhoria das condições de iluminação no caso de recintos fechados, promovendo as suas condições de salubridade, etc [44].

4.3 Composição das tintas

A norma ISO 4618 define tinta como “um produto de pintura pigmentado que, quando aplicado sobre um substrato, forma uma película opaca que tem propriedades protetoras, decorativas ou técnicas específicas” [45].

O termo “tinta” refere-se a todos os materiais, líquidos ou em pó, que contendo resinas orgânicas, são usadas como revestimento de qualquer tipo de superfície, não importando o método de cura, de aplicação ou que outros componentes contem, se é líquido ou em pó, se tem base em solventes, base aquosa ou se é livre de solventes, sendo a sua denominação sempre a mesma [46].

As tintas são compostas por duas fases: um extrato seco e um veículo volátil e cada uma destas fases inclui diferentes componentes. Estes componentes interagem física e quimicamente entre si, conferindo à tinta as propriedades pretendidas [44].

O extrato seco é a parte sólida de uma tinta, esta é constituída pelas resinas, os pigmentos e os aditivos e pode ainda conter as cargas. Os solventes e diluentes, que se evaporam durante o processo de secagem e cura, constituem o componente líquido da formulação, designado por veículo volátil [44].

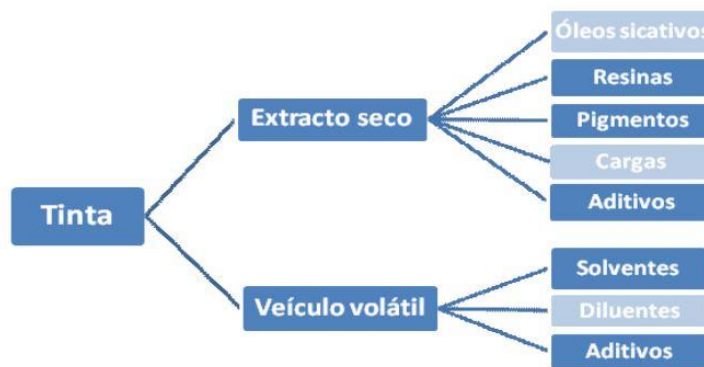


Figura 19 - Principais componentes de uma tinta, adaptado de [44].

Em suma, existem quatro componentes que constituem a maioria das tintas:

Resinas - também denominadas ligantes, veículos ou polímeros, formam a película de tinta. Indispensável para o revestimento. Esta função pode também dever-se ao uso de óleos sicativos.

Pigmentos - conferem a opacidade e a cor à película, e influenciam muitas das suas propriedades, como a durabilidade, a resistência à corrosão e a resistência ao fogo.

Solventes - presentes na maioria das tintas líquidas, são usados para dissolver o veículo fixo ou ligante, fundamental para ajustar a sua viscosidade e conseqüente comportamento. Não são usados nas tintas em pó nem em algumas tintas líquidas que curam por ação da luz UV.

Aditivos - são substâncias que podem ser adicionadas a uma tinta, geralmente em pequenas quantidades, com o objetivos de proporcionar determinadas características.

Dos componentes supracitados, os solventes e as resinas constituem a maior parte da tinta, e os restantes representam apenas uma pequena percentagem do volume total da mesma.

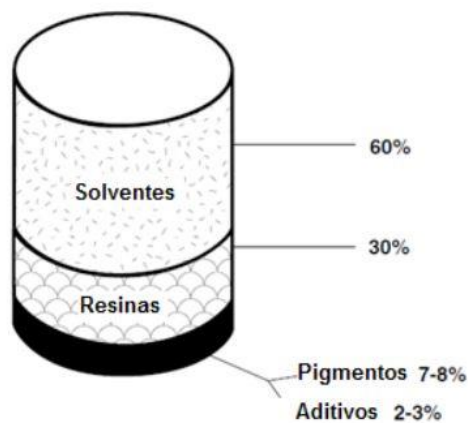


Figura 20 - Componentes de uma tinta, em percentagem do volume total, adaptado de [44].

A mistura de uma resina ou combinação de resinas, um solvente ou mistura de solventes, pigmentos e aditivos, segundo uma formulação específica, permite que quando corretamente aplicada e curada, a tinta possua determinadas características de desempenho e apresente propriedade físicas específicas, como dureza, cor, brilho e resistência à tração [46].

A proporção entre o volume de sólidos (pigmento + ligante) e de líquidos na composição de uma tinta, aplicado com uma determinada espessura húmida, determina a espessura obtida após secagem [44].

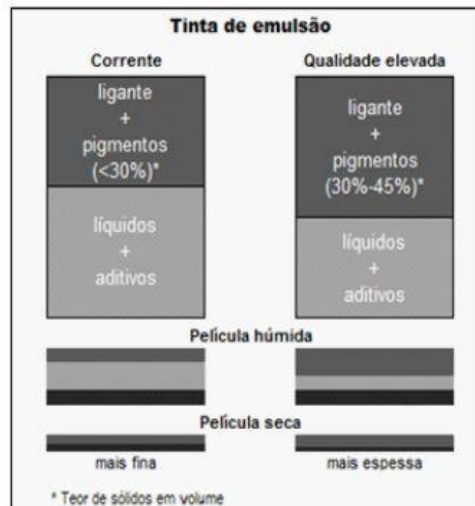


Figura 21 - Impacto da proporção de volume de sólidos e de líquidos na película seca, adaptado de [44].

4.3.1 Óleos sicativos

Os óleos sicativos são óleos insaturados e tal como as resinas, são componentes formadores de película, mas com características diferentes. Os óleos sicativos endurecem através de uma reação de oxidação nos quais os componentes se reticulam por ação do oxigénio e não por evaporação do solvente. Quando aplicados numa fina camada reagem com o oxigénio do ar, ocorrendo uma polimerização auto-oxidativa que transforma o óleo líquido numa película sólida aderente e elástica, com grande resistência, tenacidade e dureza [44].

Geralmente, os óleos sicativos extraídos necessitam de um tratamento prévio para serem usados no fabrico de tintas. Este tratamento aumenta a massa molecular e a capacidade de polimerização e de reticulação, essencial para a formação da película final, isto porque a capacidade de secagem depende da estrutura molecular dos compostos químicos que constituem os óleos. Para melhorar a velocidade de formação de película sólida também podem ser adicionados secantes ao óleo [44].

Os óleos sicativos são os principais componentes das tintas de óleo e também fazem parte da formulação das tintas de esmalte, pois são constituintes das resinas alquídicas. Industrialmente as tintas a óleo foram quase integralmente substituídas por tintas de esmalte à base de resinas alquídicas. Estas tintas podem ser usadas para cobrir superfícies mal preparadas, enferrujadas e/ou superfícies escamadas [44].

4.3.2 Resinas

A norma ISO 4618 define resina como um “produto macromolecular, geralmente amorfo, de consistência que varia entre o estado sólido e o estado líquido e que tem uma massa molecular relativamente baixa” [45].

A resina, também conhecida por ligante ou veículo, é o componente responsável pela formação de película de tinta. A resina liga as partículas de pigmento entre si, com os restantes constituintes da tinta e confere aderência com o substrato [44].

Os ligantes são os constituintes mais importantes das tintas utilizadas na construção civil, sendo os principais responsáveis pela maioria das propriedades da película de tinta, como a aderência, a integridade e a coesão, o mecanismo e o tempo de cura, o desempenho no tipo de exposição, o desempenho no tipo de substrato, a compatibilidade com outros revestimentos, flexibilidade e resistência, a durabilidade exterior e o brilho [44].

Geralmente são utilizadas várias resinas na formulação de uma tinta, para que esta reúna todas as propriedades referidas.

As resinas podem ser de origem natural ou sintética [44].

A norma ISO 4618 define resina natural como uma “resina de origem vegetal ou animal” [45].

No grupo das resinas naturais podem referir-se [44]:

1 - Colofónia - obtida por destilação da seiva do pinheiro. Apresenta, alto ponto de amolecimento, viscosidade e boa resistência à oxidação. Para aplicação em superfícies de madeira e acabamento de móveis.

2 - Goma-laca - elaborada a partir da secreção resinosa de um inseto. Forma uma película simultaneamente dura e elástica, com grande variedade de usos, como cimentos de união, cimentos para madeira, estuque e argamassas.

3 - Copais - derivadas de restos vegetais fossilizados ou semi-fossilizados, preparadas com óleos vegetais, para obter melhor tempo de secagem, elevada dureza, brilho e resistência à água e a substâncias alcalinas. Usadas como etiquetas de papel devido à sua flexibilidade.

Outrora muito utilizadas, as películas de resinas naturais são hoje aplicadas na restauração de móveis.

As resinas naturais podem ser submetidas a modificações químicas, de forma a obter produtos de elevada massa molecular, como [44]:

1 - Oleorresinas - resultantes da mistura e reação química de óleos sicativos vegetais com resinas, que apresentam maior capacidade de secagem, mais brilho e formam películas mais duras.

2 - Resinas Celulósicas - Obtidas por modificação da celulose, dando derivados como a nitrocelulose, o acetato de celulose ou a etilcelulose. São produtos pouco utilizados atualmente, com exceção da nitrocelulose.

3 - Resinas de borracha clorada - Produtos da modificação química da borracha natural, apresentam excelente resistência à água e são ainda utilizados em ambientes corrosivos ou marítimos.

As resinas sintéticas são definidas na norma ISSO 4618, como “resinas resultantes de reações químicas, tais como poliadição, policondensação ou polimerização”. Estas são geralmente preparadas a partir de subprodutos da refinaria química ou de processos de fabrico, depois de devidamente tratadas e modificadas.

As resinas sintéticas possuem maior resistência química e à luz UV, quando comparadas com as resinas naturais. São vastamente utilizadas nos produtos modernos usados para pintura, com diversos objetivos, das quais se destacam [44]:

1 - Resinas acrílicas - Os ligantes acrílicos contêm partículas de polímeros em suspensão que, aquando da evaporação do solvente e da água, permanecem e formam uma película. São especialmente usados em tintas de emulsão aquosa. As tintas que integram no seu fabrico resinas acrílicas podem ser usadas em interior ou exterior, consoante a sua formulação.

Os acrílicos aumentam a resistência à água e aos álcalis, bem como a flexibilidade e a durabilidade da película. Produzem um acabamento com elevado brilho, excelente dureza e boa resistência química e à degradação pela radiação solar, que juntamente com a incomparável retenção de cor, permitem uma grande durabilidade no exterior.

2 - Resinas alquídicas - São “resinas sintéticas resultantes da policondensação de poliácidos e de ácidos gordos (ou óleos) com polióis” [45]. O tipo e o grau de insaturação do óleo sicativo usado na produção da resina influenciam fortemente as suas propriedades, nomeadamente o tempo de secagem, a dureza, a cor e a sensibilidade à humidade.

As tintas e vernizes produzidos com resinas alquídicas secam por evaporação do solvente e curam à temperatura ambiente, por reticulação auto-oxidativa do constituinte do óleo. O custo relativamente baixo em conjunto com a facilidade de mistura e de aplicação, estabilidade de cor, uma boa resposta em diferentes ambientes atmosféricos e a excelente capacidade de penetração e aderência a superfícies relativamente mal preparadas, ásperas, sujas ou riscadas, fazem dos alquídicos um dos revestimentos de proteção mais utilizados em ambiente não químico.

3 - Resinas epoxídicas - São resinas sintéticas contendo grupos epóxi, geralmente preparados a partir de epiclorigrina e um bisfenol [45]. Quando combinadas com resinas alquídicas resultam em revestimentos que proporcionam uma grande variedade de propriedades e aplicações, uma vez que têm uma melhor aderência, excelente resistência à humidade e uma resistência química superior, mas em contrapartida apresentam um custo superior e perdem o brilho por exposição à luz UV. As propriedades de aderência tornam-nas especialmente bons primários.

Dependendo da formulação, estas resinas podem ser de um só componente que requer cura em estufa, até sistemas de dois componentes, que curam a temperatura igual ou abaixo das condições ambiente.

4 - Resinas fenólicas - São resinas sintéticas que resultam da policondensação pelo fenol, seus homólogos e/ou seus derivados com os aldeídos, em particular o formaldeído [45].

Estas resinas apresentam uma maior retenção de brilho, resistência à água e aos alcalis. Além disso, têm demonstrado um desempenho satisfatório na imersão em água, um serviço onde não são adequadas outras resinas alquídicas não fenólicas.

5 - Poliésteres - São resinas sintéticas resultantes da policondensação de poliácidos e de polióis [45]. Apresentam uma estrutura química semelhante aos alquídicos e são, no fundo, um tipo específico de resina alquídica sem óleo.

Os poliésteres são amplamente usados como revestimentos em pó, sendo geralmente utilizados na produção de vernizes, para proteção de diversos materiais usados na construção civil, nomeadamente madeira, betão, argamassa, entre outros.

6 - Poliuretanos - São resinas sintéticas que resultam da reação de isocianatos polifuncionais com compostos contendo grupos hidroxilo reativos [45]. Várias pigmentações e diversas combinações de formulação permitem que os poliuretanos se adequem às condições de exposição, formando sempre películas duras, com elevado brilho.

Têm uma excelente resistência química e a manchas e melhoram a resistência à humidade, intempéries e abrasão. A sua utilização permite ainda uma diminuição do tempo de secagem do revestimento e, de um modo geral, requer pouco ou nenhum calor para endurecer. No entanto, o preço pode ser duas a cinco vezes superior a outras tintas, o que limita a utilização a situações onde o elevado desempenho justifique o custo. Normalmente são usados para melhorar o revestimento alquídico e para revestimento dos cascos de navios [44].

São fornecidos em recipientes separados, sendo misturados antes da aplicação. O resultado da mistura tem um tempo de vida limitado para ser aplicado, antes de começar a formação do reticulado, tempo esse que pode ir de alguns minutos até 16 horas.

7 - Resinas vinílicas - São resinas sintéticas que resultam da polimerização ou da copolimerização de monómeros contendo grupos vinílicos [45]. Podem ter diferentes graus de polimerização e são frequentemente misturados entre si, como o poliacetato de vinilo, o policloreto de vinilo (PVC) e os acrilatos.

Estas resinas são geralmente formuladas como primários universais, podendo também ser usadas como fixante entre diferentes camadas de pintura, antes de cobertas com intermédios e acabamentos.

Usadas nas tintas de emulsão aquosa, o constituinte alquídico melhora a aderência, a formação da película e a resistência térmica e a solventes, enquanto as modificações vinílicas aumentam a capacidade de repintura e a resistência química e à humidade.

As tintas à base de emulsões vinílicas são muito usadas na construção civil, devido à sua facilidade de aplicação e por não serem tóxicas nem inflamáveis, sendo no entanto, sensíveis à humidade durante a aplicação.

8 - Resinas de Silicone - São resinas sintéticas nas quais a estrutura de base consiste numa cadeia que comporta grupos siloxano (silício-oxigénio-silício) [45].

São usadas em pinturas na marinha e na manutenção devido à sua elevada resistência ao clima, ao calor e à água. Têm como características também aumento da durabilidade e do brilho.

Outras resinas sintéticas:

- Resinas amínicas
- Resinas betuminosas
- Resinas hidrocarbonetos
- Resinas isocianatos
- Silicatos

Existem ainda outros tipos de resinas sintéticas menos usuais e as tentativas de desenvolvimento de novos polímeros são constantes, através de combinações diferentes monómeros e novas combinações entre resinas [44].

4.3.3 Pigmentos

A norma ISO 4618 define pigmento como “material corante, geralmente na forma de partículas finas, que é praticamente insolúvel no meio de suspensão e que é utilizado devido às suas propriedades óticas, protetoras e/ou decorativas” [45].

Os pigmentos são pequenas partículas que, apesar de insolúveis no veículo, são incorporadas na tinta para dar cor, realçar o seu aspeto ou melhorar as suas propriedades físicas.



Figura 22 - Pigmentos.

A forma e o tamanho do pigmento, a molhabilidade pelo ligante, o espaçamento e as propriedades relacionadas com a densidade específica influenciam fortemente a viscosidade, as características de aplicação da tinta fresca e as propriedades do revestimento em termos de proteção, depois de seco.

Os pigmentos são o único componente na tinta responsáveis pela cor e pela opacidade da película seca que irá revestir, de uma forma homogénea, a superfície que serve de suporte. Além disso, pode atribuir algumas propriedades, como aumentar a sua durabilidade e contribuir para uma redução de custos de reparação e manutenção, aumentar a resistência à luz e à intempérie, a resistência ao calor, aos solventes e à cristalização, e até ao sangramento [44].

Há pigmentos que são usado em casos particulares, exemplos disso são pigmentos com ação anti vegetativa e anti fungos, entre outros.

Os pigmentos podem ser de origem natural ou sintética. Alguns pigmentos inorgânicos contêm na sua composição chumbo, crómio, cádmio ou outros metais pesados. Devido à elevada toxicidade para a saúde humana e também para o meio ambiente, a sua utilização no fabrico de tintas tem vindo a ser descontinuada [44].

4.3.4 Cargas

A norma ISO 4618 define uma carga como, “material sob a forma de grânulos ou de pó, insolúvel no meio de suspensão e utilizada para modificar ou influenciar determinadas características”, [45] como a permeabilidade da película, a resistência química, o brilho, a sedimentação, a resistência à abrasão, o comportamento anticorrosivo e a viscosidade.

As cargas servem sobretudo para dar corpo à tinta, uma vez que apresentam um baixo custo em relação aos pigmentos, não tendo, no entanto, o mesmo poder corante e de opacidade. Podem também facilitar o fabrico e a aplicação, melhorar a qualidade e a durabilidade e possibilitam a conservação das tintas, uma vez que aumentam a impermeabilidade e a elasticidade e lhe conferem propriedades particulares como resistência ao fogo e antiderrapante [44].

As cargas podem ser de origem natural ou sintética.

Atualmente, os tipos de cargas mais utilizados na produção de tintas são [44]:

- **Carbonato de cálcio** - É uma das cargas mais económicas e mais utilizadas. Reduz o custo das tintas, tem boa ação anticorrosiva. É muito solúvel em meios ácidos, pelo que não deve ser usada quando se pretende uma boa resistência química.

- **Barita** - É quimicamente inerte e não é tóxica, é de origem natural e confere alta dureza e resistência à película, depois de seca.

- **Talco** - Inerte sob ponto de vista químico, a forma lamelar das suas partículas transmite à película final de tinta um toque suave, melhora o comportamento da mesma na proteção contra a corrosão e aumenta a lixabilidade dos produtos.

- **Caulino** - A forma lamelar das suas partículas melhoram o desempenho da tinta na proteção contra a corrosão. Pode contribuir para um acréscimo do grau de opacidade, devido à presença de ar no interior das partículas.

- **Granulados de sílica** - Atribui às tintas uma maior resistência à abrasão e à esfrega, devido à sua elevada dureza. Permite a obtenção de superfícies texturadas, devido à presença de areias de granulometria selecionada.

- **Diatomite** - São cargas de origem sedimentar e formato irregular, que têm uma elevada capacidade de absorção de óleo e por isso são usadas como redutor de brilho.

- **Mica** - Permitem melhorar os níveis de resistência das tintas, em relação à humidade e à fissuração, em particular em revestimentos expostos a climas adversos. Usados geralmente nas tintas para exterior, uma vez que apresentam uma opacidade quase total aos raios UV.

A redução do tamanho das partículas de carga melhora o espaçamento dos pigmentos. Esta otimização permite aumentar a opacidade de uma tinta sem aumentar a quantidade de pigmentos utilizados.

4.3.5 Solventes e Diluentes

A norma ISO 4618 define um solvente como, um “líquido simples ou mistura de líquidos, volátil sob determinadas condições de secagem, e no qual o ligante é solúvel” [45].

Os solventes são utilizados nas diversas fases de fabrico de tintas com a finalidade de dissolver o veículo fixo ou ligante. De uma forma geral, todas as formulações de tintas usam uma mistura de solventes para obter as propriedades ótimas. Possibilitam a aplicação do material de revestimento e devem ter a capacidade de molhar e penetrar no substrato transportando os componentes sólidos que, após evaporação, dos solventes ajudam a tapar fissuras, espaços vazios ou irregularidades [44].

Qualquer líquido volátil pode ser usado como solvente, como diluente, uma vez que mesmo não tendo capacidade dissolvente poderá aumentar a solvabilidade de outros solventes numa tinta [44].

A norma ISO 4618 define um diluente como “um líquido volátil, simples ou em mistura que, sem ser solvente, pode ser usado em conjunto com o solvente sem causar qualquer efeito indesejável” e noutra contexto “um líquido simples ou mistura de líquidos, voláteis nas condições de utilização, que se junta a um produto de pintura para reduzir a viscosidade ou influenciar outra propriedade” [45].

A escolha e as quantidades utilizadas do diluente é de extrema importância uma vez que, tanto a escassez como o excesso podem alterar completamente o comportamento da tinta.

Em suma, as características que poderão ser influenciadas pela presença dos solventes e diluentes são: o poder solvente, a volatilidade, o cheiro, a toxicidade, o ponto de inflamação e o preço.

A água é o solvente universal, apesar de não ser usada como solvente de tintas em revestimentos duráveis. Os solventes orgânicos conferem baixa sensibilidade à água e são o solvente de eleição para dissolver resinas sólidas. Existem vários tipos de solventes [44].

4.3.6 Aditivos

A norma ISO 4618 define aditivo como “qualquer substância adicionada em pequenas quantidades a um produto de pintura, para melhorar ou modificar uma ou mais propriedades” [45]. São produtos usados na formulação de revestimentos para conferir propriedades físicas ou químicas específicas ao revestimento, como facilitar o fabrico, melhorar a estabilidade da tinta na embalagem, facilitar a agitação e resolver defeitos que possam aparecer na película de tinta, durante a secagem ou mesmo depois de seca [44].

De um modo geral, os aditivos são produtos líquidos, viscosos ou sólidos pulverulentos, solúveis nos veículos, adicionados em quantidades inferiores a 5% da massa de tinta e destinados a melhorar as condições de aplicação dos produtos de pintura e as propriedades da película seca.

De um modo geral os aditivos são designados pela função específica que desempenham no produto de pintura ou na película. Em seguida referem-se alguns dos aditivos mais utilizados:

Tabela 8 - Tipos de aditivo, adaptado de [44].

Aditivo	Função
Absorventes da luz	Estabilizadores do comportamento dos revestimentos expostos à luz solar e aos raios UV
Agentes anti-pele	Impedir a formação de peles à superfície dos produtos nas embalagens, durante a armazenagem
Agentes anti-espuma	Diminuir ou evitar a formação de espumas indesejáveis
Agentes anti-sedimento	Evitar a deposição dos pigmentos e cargas, durante a armazenagem dos produtos
Agentes tixotrópicos	Promover aumento de viscosidade nos produtos
Bactericidas	Evitar os efeitos da degradação por bactérias Evitar a putrefacção
Desidratante	Conservar um baixo teor de humidade no interior da lata durante a armazenagem (poliuretanos que curam por reacção com a humidade do ar)
Dispersantes	Facilitar a dispersão dos produtos pulverulentos nos veículos
Emulsionante	Favorecer a formação duma emulsão e assegurar a sua estabilidade
Espessante	Provocar um aumento de consistência (agentes de endurecimento)
Fungicidas e algicidas	Reduzir o ataque da película pelos fungos
Inibidores de corrosão	Prevenir a corrosão
Insecticida	Conferir à película uma toxicidade suficiente para assegurar a destruição dos insectos que venham ao seu contacto
Molhantes	Diminuir a tensão interfacial entre a fase sólida e a fase líquida
Plastificantes	Conferir elasticidade, aumentar e manter a flexibilidade da película
Secantes	Provocar uma apreciável redução do tempo de secagem à temperatura ambiente

4.4 Principais tipos de tintas

4.4.1 Tipos de tintas

As tintas tradicionais usam um solvente orgânico baseado no petróleo para dispersar resinas moleculares [44].

- Tintas de elevado teor de sólidos
- Tintas curadas pela luz UV
- Tintas em pó
- Tintas de base aquosa

As tintas de base aquosa, as quais contém água utilizada principalmente para dispersar as resinas, podem também conter algum solvente. Podem ser usadas resinas incompatíveis com a água desde que sofram previamente uma modificação química. As tintas de base aquosa podem ser classificadas em soluções, emulsões e dispersões, onde as propriedades dependem da especificidade das resinas usadas [44].

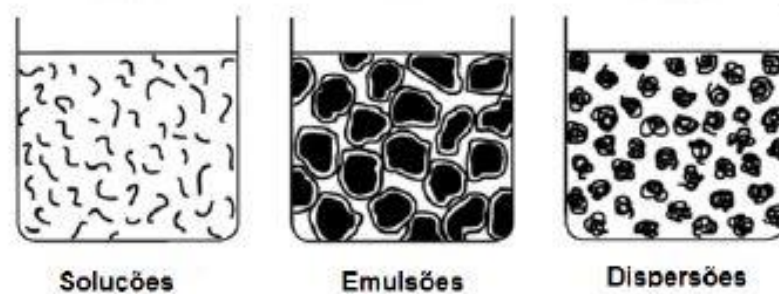


Figura 23 - Tintas de base aquosa, adaptado de [44].

4.4.2 Classificação de tintas

No mercado existe uma grande diversidade de produtos de pintura, com distintas aplicações e com as mais variadas características. Para se especificar um determinado produto recorre-se geralmente a um dos tipos de classificações usuais e que têm por base a natureza do solvente, a natureza do ligante ou o fim a que se destinam.

Classificação baseada na natureza do solvente [44]:

- **Tintas em que o solvente é água** - Aqui incluem-se as tintas de emulsão aquosas (tintas plásticas) e todas as tintas aquosas que tenham resinas sintéticas (tintas água acrílicas ou vinílicas e os esmaltes aquosos em geral).
- **Tintas em que o solvente não é água** - Todas as tintas líquidas não-aquosas.

Classificação baseada na natureza do ligante:

Esta é a classificação mais utilizada classificando as tintas de acordo com a natureza do principal ligante.

- **Tintas acrílicas e metacrílicas;**
- **Tintas alquídicas, oleosas e oleorresinosas de secagem ao ar;**
- **Tintas betuminosas;**
- **Tintas de borracha natural, sintética, modificada ou não;**
- **Tintas epoxídicas;**
- **Tintas nitrocelulósicas;**
- **Tintas de poliésteres;**
- **Tintas de Poliuretano;**
- **Tintas de silicatos;**
- **Tintas de silicones;**
- **Tintas vinílicas.**

Geralmente são seguidos pelo termo “aquoso”, nos casos em das tintas que têm base aquosa.

Na construção civil as tintas são designadas de uma forma geral, por termos relacionados com o aspeto do acabamento obtido ou com a finalidade com que são utilizadas, como por exemplo [44]:

- **Tinta de esmalte** - Tinta com acabamento mais ou menos brilhante e liso.
- **Tinta plástica ou tinta de emulsão** - Tinta de água com ligantes sintéticos, que dão um acabamento liso e mate.
- **Tinta em pó** - Tinta sem solvente.
- **Termolacado** - Revestimento obtido a partir da aplicação de determinadas tintas sobre superfícies metálicas previamente tratadas, seguidas de cura em estufa.
- **Tinta acrílica** - Tinta acrílica aquosa específica para exposições atmosféricas, como primários ou como acabamento e têm uma excelente retenção de cor e brilho.
- **Tintas de óleo** - Tinta que consiste em um pigmento, um óleo sicativo e um solvente alifático, sem qualquer modificação com resinas sintéticas.

Capítulo 5 - Caso Prático

O presente trabalho foi realizado com o intuito de estudar em que medida as tintas contribuem ou não para a concentração de radão no interior de um edifício. Com este objetivo foram escolhidas oito tintas, usadas correntemente como revestimento de superfícies na construção civil. Para determinar a emissão de radão das próprias tintas produziram-se oito provetes cúbicos, sendo que, em cada provete foi colocada uma tinta e um detetor de radão. Foram também produzidos 3 provetes, em forma de paralelepípedo, divididos em cinco compartimentos cada um, para estudar em que medida as tintas limitam ou não, a circulação de radão. Para medir as concentrações de radão foram utilizados detetores passivos CR39.

5.1 Tintas Analisadas

Todas as tintas usadas neste trabalho foram propriamente homogeneizadas antes de serem aplicadas. Cada tinta foi aplicada em quatro suportes de rede mosqueira de plástico, com uma dimensão de 100 x 100 milímetros. A primeira camada de tinta foi aplicada através do mergulho do suporte na tinta e a segunda foi aplicada com o auxílio de uma pequena trincha para cobrir todos os poros. O processo foi o mesmo em todos os suportes. Foram cumpridos os tempos de secagem recomendados pelos fabricantes. As tintas foram numeradas de 1 a 8 para facilitar a sua análise.

Em seguida apresenta-se uma breve descrição de cada tinta.

5.1.1 Tinta 1

Contrastes Mate é uma tinta plástica de interior formulada com base em emulsão aquosa de copolímeros acrílicos e pigmentação selecionada, de cor laranja, acabamento liso e brilho mate. Fabricada pela empresa Tintas Dyrup, S.A. com sede em Sacavém, foi cedida pela empresa PlanUp, Lda com sede na Figueira da Foz.



Figura 24 - Tinta 1.

A amostra foi retirada de uma embalagem de 0.75L.

Apresenta-se a ficha técnica na página 102 em anexo.

5.1.2 Tinta 2

Robbialac Advance é uma tinta aquosa de acabamento, formulada com base numa dispersão aquosa especial copolímera de acetato de vinilo e veova, pigmentada com dióxido de titânio rutilo e cargas inertes, de cor branca, acabamento liso e brilho acetinado. Fabricada pela empresa Tintas Robbialac, S.A. com sede em Lisboa, foi cedida pela empresa PlanUp, Lda com sede na Figueira da Foz.



Figura 25 - Tinta 2.

A amostra foi retirada de uma embalagem de 1L.

Apresenta-se a ficha técnica na página 103 em anexo.

5.1.3 Tinta 3

O revestimento 5500 da Sika é uma tinta texturada de base aquosa formulada à base de resinas sintéticas em dispersão aquosa e cargas minerais inertes e é destinada à proteção e decoração de paredes exteriores, de cor marfim e acabamento rugoso. Fabricada pela empresa Sika Portugal, S.A. com sede em Vila Nova de Gaia, foi cedida pela empresa PlanUp, Lda com sede na Figueira da Foz.



Figura 26 - Tinta 3.

A amostra foi retirada de uma embalagem de 4L.

Apresenta-se a ficha técnica na página 104 em anexo.

5.1.4 Tinta 4

Argamat é uma tinta plástica com base em emulsões aquosas para aplicações exteriores e interiores, de cor creme, acabamento liso e brilho mate. Fabricada pela empresa Argacol - Tintas e Vernizes, S.A. com sede em Leiria, foi cedida pela empresa PlanUp, Lda com sede na Figueira da Foz.



Figura 27 - Tinta 4.

A amostra foi retirada de uma embalagem de 15L.

Apresenta-se a ficha técnica na página 105 em anexo.

5.1.5 Tinta 5

Acrilsmalte Mate é um esmalte aquoso 100 % acrílico para paredes interiores e exteriores que pode também ser utilizado em madeira e metal, de cor creme, acabamento liso e brilho mate. Fabricada pela empresa Tintas Robbialac, S.A. com sede em Lisboa, foi cedido pela empresa PlanUp, Lda com sede na Figueira da Foz.



Figura 28 - Tinta 5.

A amostra foi retirada de uma embalagem de 15L.

Apresenta-se a ficha técnica na página 106 em anexo.

5.1.6 Tinta 6

A Durtex é uma tinta areada formulada à base de emulsões de copolímeros de vinil acetato/vinil versatato, indicada para pinturas interiores ou exteriores, de cor branca e acabamento texturado. Fabricada pela empresa Ecopaint, S.A. com sede em Leiria, foi cedida pela empresa PlanUp, Lda com sede na Figueira da Foz.

A amostra foi retirada de uma embalagem de 15L.

Apresenta-se a ficha técnica página 107 em anexo.

5.1.7 Tinta 7

Membrana Fachadas da marca Luxens é uma tinta aquosa de acabamento, formulada com base em resinas acrílicas, de cor branca, acabamento membrana liso e brilho acetinado. Fabricada pela empresa Groupe Adeo, S.A. com sede em Paris, foi cedida pela empresa PlanUp, Lda com sede na Figueira da Foz.



Figura 29 - Tinta 7.

A amostra foi retirada de uma embalagem de 15L.

Apresenta-se a ficha técnica na página 108 em anexo.

5.1.8 Tinta 8

Luxens paredes interiores vermelho nº 3 da marca Luxens é uma tinta plástica formulada com base em emulsão de copolímeros vinílicos, de cor vermelha, acabamento liso e brilho acetinado. Fabricada pela empresa Groupe Adeo, S.A. com sede em Paris, foi cedida pela empresa PlanUp, Lda com sede na Figueira da Foz.



Figura 30 - Tinta 8.

A amostra foi retirada de uma embalagem de 0.75L.

Apresenta-se a ficha técnica na página 109 em anexo.

5.1.9 Resumo das Características e das Propriedades Físicas das Tintas

Tabela 9 - Resumo das características das tintas.

Tinta	Marca	Cor	Int/Ext	Brilho	Tipo de Tinta
Tinta1	Dyrup	Laranja	Int.	Mate	Emulsão aquosa de copolímeros acrílicos
Tinta 2	Robbialac	Branco	Int.	Acetinado	Dispersão aquosa copolímera de acetato de vinilo e veova
Tinta 3	Sika	Branco	Ext.	Texturada	Dispersão aquosa e cargas minerais inertes
Tinta 4	Arga	Creme	Int./Ext.	Mate	Emulsão Aquosa
Tinta 5	Robbialac	Creme	Int./Ext.	Mate	Esmalte aquoso 100% acrílico
Tinta 6	Ecotintas	Branco	Int./Ext.	Texturada	Emulsões de copolímeros de vinil acetato/vinil versatato
Tinta 7	Luxens	Branco	Ext.	Acetinada	Membrana resinas acrílicas
Tinta 8	Luxens	Vermelho	Int.	Acetinado	Emulsão de copilímeros vinílicos

Tabela 10 - Resumo das propriedades físicas das tintas.

Tinta	Densidade [Kg/dm ³]	Viscosidade [KU]	Sólidos em Volume [%]
Tinta 1	1,403 - 1,558	110 - 120	37,0 - 43,5
Tinta 2	1,290 - 1,350	85 - 95	-
Tinta 3	1,600	-	-
Tinta 4	1,490 - 1550	100 - 110	-
Tinta 5	1,330 - 1,390	94 - 100	50 - 52
Tinta 6	1,640 - 1,740	-	55 - 57
Tinta 7	1,300 - 1,380	125 - 130	-
Tinta 8	1,290 - 1,310	115 - 125	-

5.2 Configuração Experimental

O material escolhido para os provetes foram o acrílico e o silicone uma vez que são materiais que já foram estudados em termos de emissão e permeabilidade ao radão, nomeadamente na dissertação de mestrado de Marcelo Lopes com o título “Análise do comportamento de materiais de revestimento como barreiras de Radão” [47], na qual se concluiu que o acrílico e o silicone não só têm uma emissão de radão praticamente nula como são uma excelente barreira ao mesmo. Por este motivo o presente trabalho não aborda o radão em relação aos provetes, desprezando a sua contribuição para a concentração deste gás.

Os ensaios foram efetuados no Laboratório de Estudos dos Efeitos de Exposição ao Radão (LabExpoRad), inserido no UBIMEDICAL.

5.2.1 Provetes Individuais

Para testar o radão emitido pelas tinta foram produzidos oito provetes a partir de peças em acrílico, sendo estas unidas com silicone de forma a criar um cubo resistente e estanque, com cerca de 1000 cm³ de volume interior.



Figura 31 - Montagem de provetes individuais em acrílico com silicone.

Em cada provete foi colocada uma das tintas previamente aplicadas nos suportes de rede mosqueira. Em seguida abriu-se uma embalagem contendo um detetor de radão CR39, o qual foi datado. Depois colocou-se o detetor dentro do cubo e procedeu-se à selagem do mesmo com a respetiva tampa. Também se colocou uma etiqueta em cada provete de forma a identificar a tinta em análise.

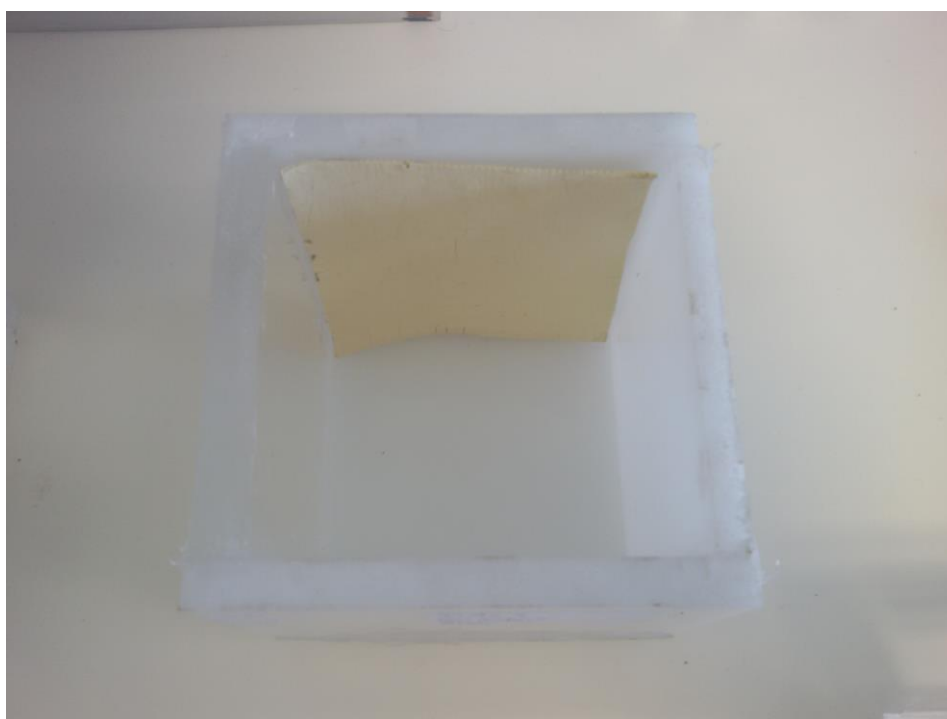


Figura 32 - Colocação do suporte com tinta aplicada.



Figura 33 - Colocação de tintas nos cubos e etiquetagem.

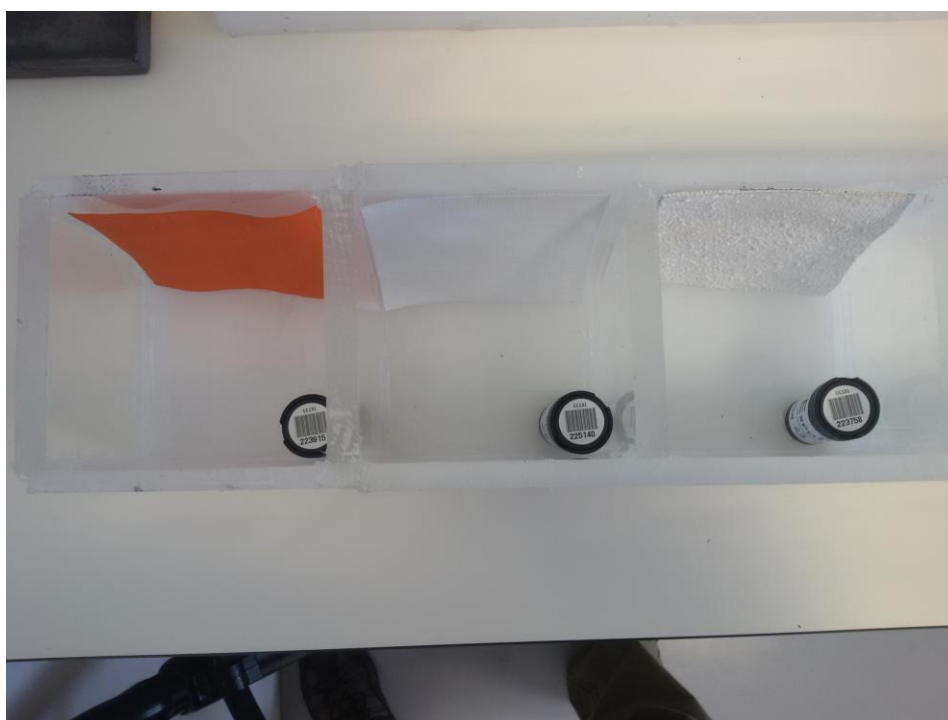


Figura 34 - Colocação de detetores CR39.

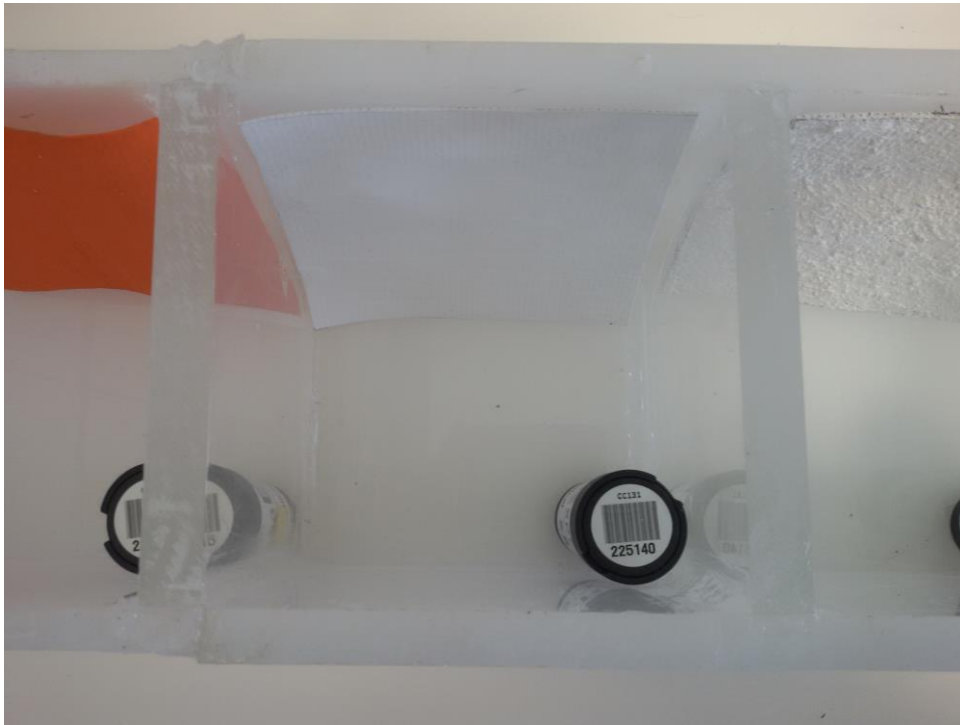


Figura 35 - Pormenor da referência do detetor CR39.



Figura 36 - Os 8 provetes individuais selados e embalagens de alumínio dos detetores CR39 para posterior armazenamento.

Estes provetes estiveram selados durante 85 dias, ao fim dos quais foram abertos. Os detetores foram retirados, guardados nas embalagens originais e enviados para análise de modo a determinar a concentração média de radão no interior cada provete originada pelas

tintas. Os ensaios tiveram uma duração de 85 dias, uma vez que, o tempo recomendado de exposição para este tipo de detetores é de cerca de 3 meses.

A tabela 12 indica as referências, as datas de colocação e de retirada dos detetores e a duração dos ensaios.

Tabela 11 - Dados referentes aos detetores colocados nos provetes individuais.

Tinta	Referência do detetor CR39	Data de colocação	Data de retirada	Número de dias de exposição
Tinta 1	223915	25/03/2016	18/06/2016	85
Tinta 2	225140	25/03/2016	18/06/2016	85
Tinta 3	223758	25/03/2016	18/06/2016	85
Tinta 4	223392	25/03/2016	18/06/2016	85
Tinta 5	225307	25/03/2016	18/06/2016	85
Tinta 6	223543	25/03/2016	18/06/2016	85
Tinta 7	223759	25/03/2016	18/06/2016	85
Tinta 8	224929	25/03/2016	18/06/2016	85

5.2.2 Provetes para testar a permeabilidade das tintas ao radão

Para testar em que medida as tintas limitam ou não a transmissão de radão entre volumes, foi projetado um provete de forma a encontrar uma solução que permitisse estudar várias tintas em simultâneo e que apresentasse uma estrutura resistente, estanque e de fácil montagem.

As figuras 36 e 37 representam uma ilustração da solução escolhida.

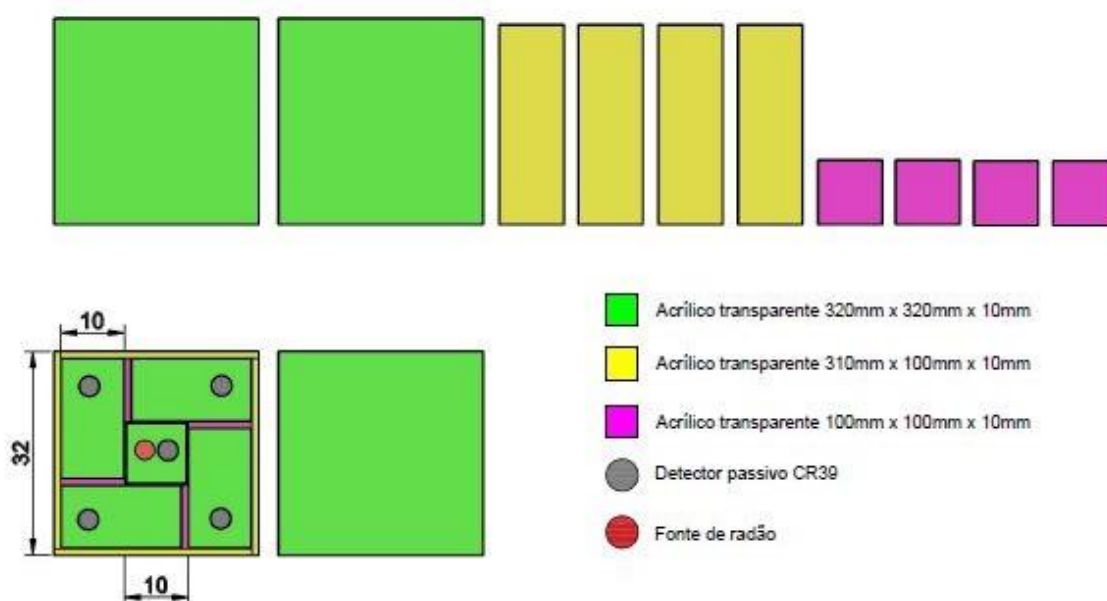


Figura 37 - Esquema do provete (unidades em centímetros).

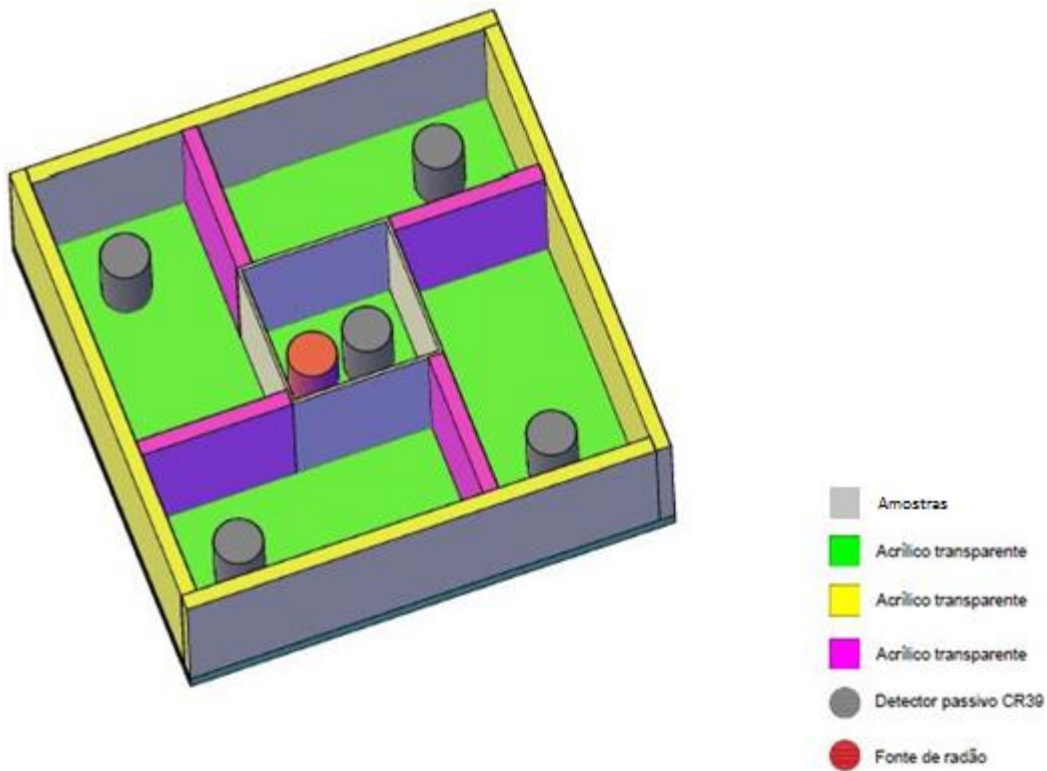


Figura 38 - Perspetiva do provete.

Escolhida a solução, foram adquiridas as peças em acrílico e o silicone necessários para produzir três provetes idênticos. Esta solução apresenta cinco volumes interiores, um central com aproximadamente 1000 cm^3 e quatro com aproximadamente 2000 cm^3 .

Foram escolhidas três rochas para servirem de fonte geradora de radão, as quais foram assinaladas com A, B e C.



Figura 39 - Exemplos de rochas emissoras de radão.

Os suportes onde as tintas foram aplicadas foram emoldurados e colocou-se silicone em toda a volta para garantir que a única forma do radão transitar do volume central para os outros fosse através da tinta, e ainda para facilitar a colocação e a fixação da tinta no local pretendido dentro do provete.



Figura 40 - Suportes emoldurados.

Em seguida procedeu-se à montagem dos provetes, colocando em cada provete quatro molduras de tintas diferentes, uma fonte de radão e cinco detetores de radão CR39.

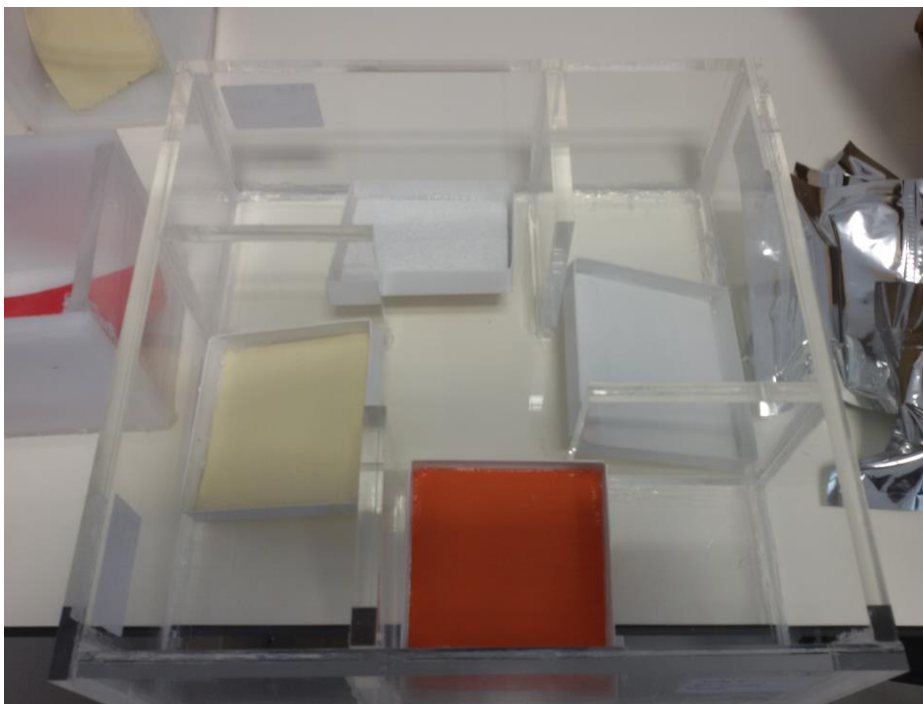


Figura 41 - Montagem de provete.

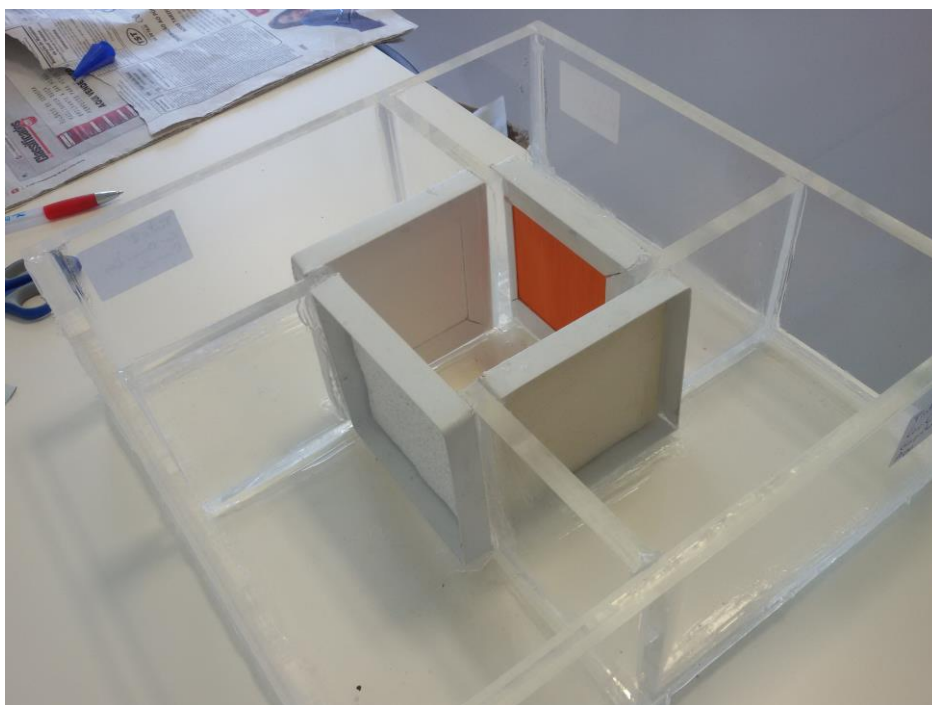


Figura 42 - Colagem das molduras com silicone.

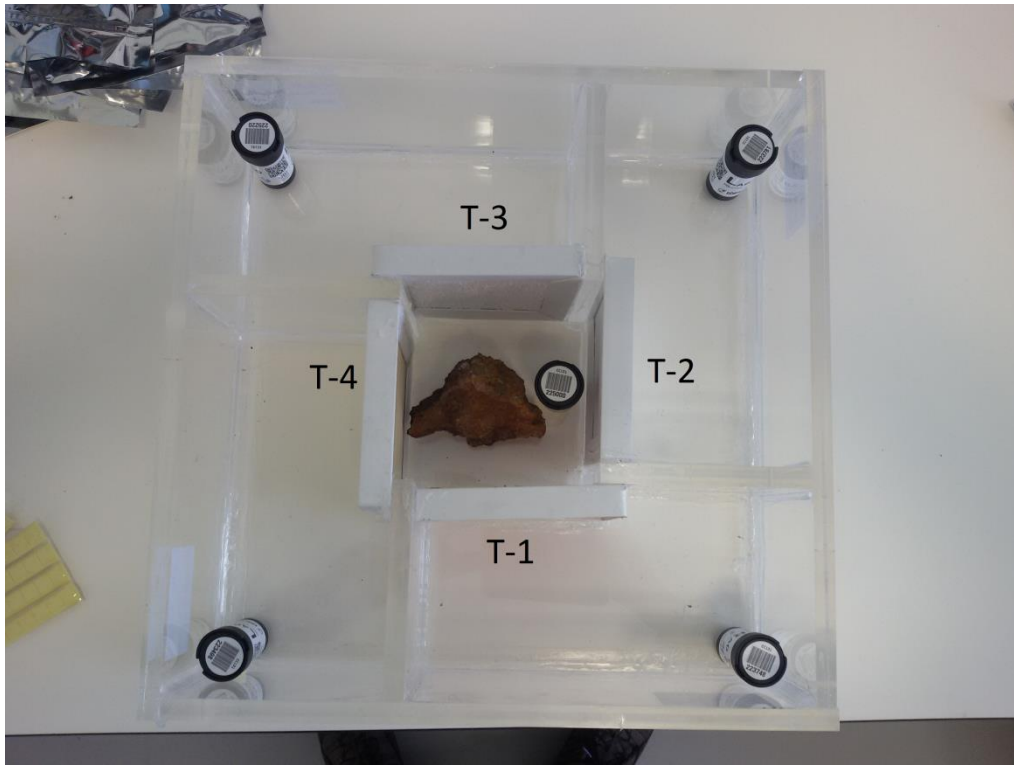


Figura 43 - Colocação de detetores CR39 e fonte geradora de radão B.

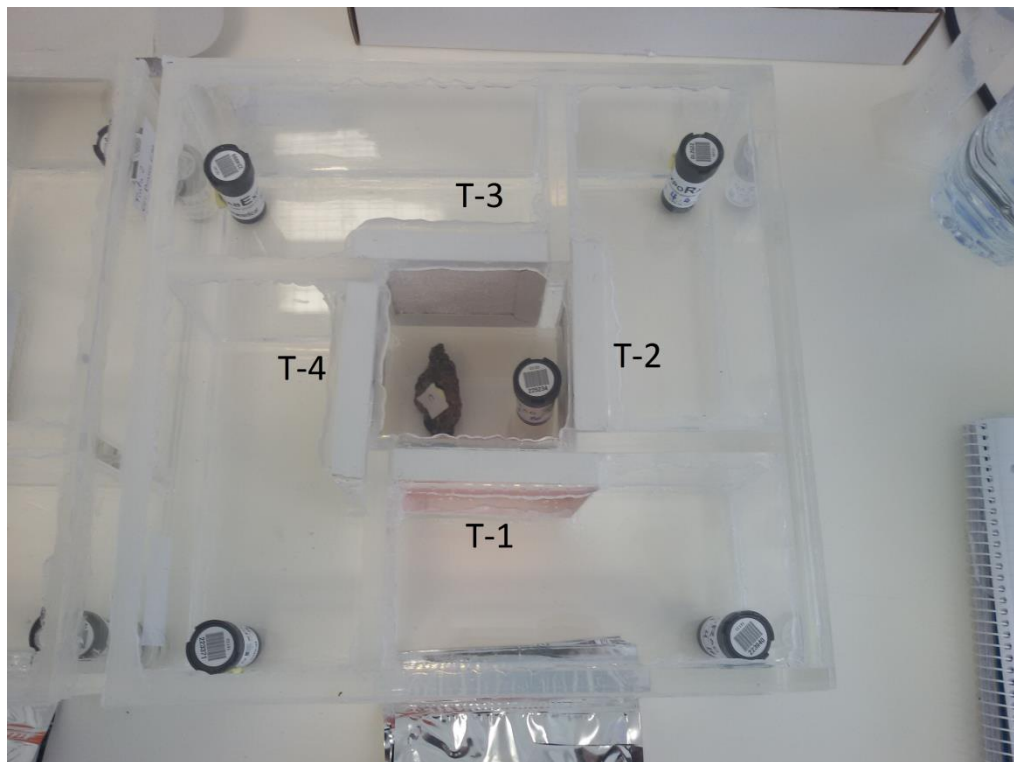


Figura 44 - Selagem do provete com a fonte de radão C e as tintas 1 - 4.

Ainda antes da elaboração dos ensaios definitivos foi feito um teste apenas com um provete, com a fonte de radão A e as tintas 1, 2, 3 e 4 com o propósito de determinar o equilíbrio secular⁹ e, deste modo, determinar o intervalo de tempo do ensaio. O teste durou 7 dias e decidiu-se que a duração dos ensaios deveria ser de 23 dias, uma vez que é o tempo necessário para se atingir o equilíbrio secular.

Os ensaios definitivos foram divididos em duas Séries.

Na 1ª Série cada provete tinha uma fonte de radão, Fonte A, Fonte B e Fonte C e quatro tintas, Tinta 1, Tinta 2, Tinta 3 e Tinta 4.



Figura 45 - 1ª Série do ensaio com a Fonte A, Fonte B e Fonte C (da esquerda para a direita).

Na 2ª Série trocaram-se as tintas anteriores pelas tintas 5, 6, 7 e 8 e colocaram-se novos detetores CR39.

⁹ **Equilíbrio Secular**- Na física nuclear, o equilíbrio secular é uma situação na qual a quantidade do isótopo radioativo permanece constante devido à taxa de produção ser igual à taxa de decomposição [19].

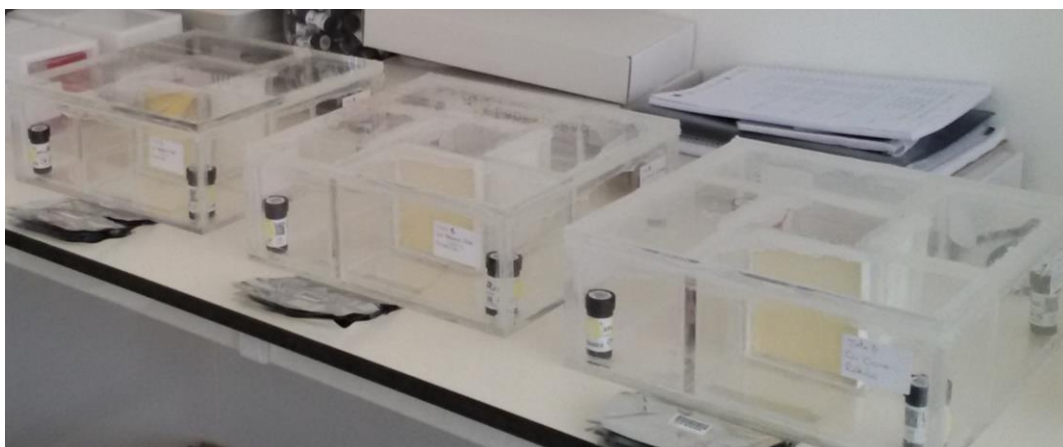


Figura 46 - 2ª Série do ensaio.

Os detetores destes ensaios foram tratados da mesma forma que no ensaio dos provetes individuais. A tabela 13 indica as referências, as datas de colocação e de retirada dos detetores e a duração dos ensaios da primeira série. A tabela 14 refere-se aos detetores dos ensaios da segunda série.

Tabela 12 - Dados referentes aos detetores colocados nos provetes da 1ª Série.

Detetor	Referência do detetor CR39	Data de colocação	Data de retirada	Número de dias de exposição
Fonte A	225130	04/04/2016	27/04/2016	23
Tinta 1	225126	04/04/2016	27/04/2016	23
Tinta 2	223750	04/04/2016	27/04/2016	23
Tinta 3	223390	04/04/2016	27/04/2016	23
Tinta 4	223531	04/04/2016	27/04/2016	23
Fonte B	223769	04/04/2016	27/04/2016	23
Tinta 1	223768	04/04/2016	27/04/2016	23
Tinta 2	225122	04/04/2016	27/04/2016	23
Tinta 3	225127	04/04/2016	27/04/2016	23
Tinta 4	223517	04/04/2016	27/04/2016	23
Fonte C	225234	04/04/2016	27/04/2016	23
Tinta 1	223940	04/04/2016	27/04/2016	23
Tinta 2	225210	04/04/2016	27/04/2016	23
Tinta 3	224999	04/04/2016	27/04/2016	23
Tinta 4	223371	04/04/2016	27/04/2016	23

Tabela 13 - Dados referentes aos detetores colocados nos provetes da 2ª Série.

Detetor	Referência do detetor CR39	Data de colocação	Data de retirada	Número de dias de exposição
Fonte A	223939	28/04/2016	21/05/2016	23
Tinta 5	223499	28/04/2016	21/05/2016	23
Tinta 6	223754	28/04/2016	21/05/2016	23
Tinta 7	223509	28/04/2016	21/05/2016	23
Tinta 8	223394	28/04/2016	21/05/2016	23
Fonte B	224915	28/04/2016	21/05/2016	23
Tinta 5	223943	28/04/2016	21/05/2016	23
Tinta 6	223370	28/04/2016	21/05/2016	23
Tinta 7	223376	28/04/2016	21/05/2016	23
Tinta 8	223782	28/04/2016	21/05/2016	23
Fonte C	224908	28/04/2016	21/05/2016	23
Tinta 5	225134	28/04/2016	21/05/2016	23
Tinta 6	225012	28/04/2016	21/05/2016	23
Tinta 7	223904	28/04/2016	21/05/2016	23
Tinta 8	223922	28/04/2016	21/05/2016	23

5.3 Deteção e medição de radão

A deteção de radiação emitida pelo radão só pode ser realizada com materiais ou instrumentos capazes de captar e registar a sua presença. A deteção é consequência da interação da radiação com um meio sensível. Os detetores de radiação são dispositivos sensíveis à radiação ionizante que permitem determinar a quantidade de radiação presente no meio de interesse [48].

Podem considerar-se dois tipos de detetores distintos, detetores ativos e detetores passivos:

A **deteção ativa** consiste essencialmente na realização de medições instantâneas da concentração de radão ou dos seus descendentes no ar, em curtos intervalos de tempo. Neste método é recolhida uma amostra de ar que é tratada num sistema de deteção de radioatividade, onde é possível medir separadamente o radão dos seus descendentes através do uso de filtros, campos eletrostáticos negativos ou simplesmente através do repouso da amostra de ar durante 3 horas, tempo que permite que a maioria dos descendentes do radão que ingressaram na amostra decaia radioactivamente, sendo assim possível medir só o radão e os seus descendentes produzidos após a recolha. Exemplos deste tipo de detetores são as células de Lucas, câmaras de ionização, espectrómetros alfa, método de dois filtros e o método de contagem integrada [22].

A **deteção passiva** consiste na exposição de detetores no ambiente que se pretende analisar, sendo que o tempo de exposição pode ser muito variável, dependendo do detetor que se utiliza. Neste método, o isótopo ^{222}Rn é detetado através dos traços registados no detetor causados pelo impacto das partículas. No fim do tempo de exposição, o detetor é sujeito a um tratamento químico ou eletroquímico adequado que alonga e alarga os traços, permitindo que estes sejam visíveis ao microscópio óptico. A concentração média de emissores durante a exposição é determinada a partir da relação entre o tempo de exposição e o número de traços por unidade de área, ou seja, a densidade de traços no detetor. Neste tipo de deteção, os SSNTD (Solid-state nuclear track detectors) são os mais utilizados [22].

5.3.1 Detetor CR39

O detetor CR39, também conhecido por detetor passivo ou de traços, pertence ao grupo dos detetores do estado sólido (SSNTD). É um monómero dialil-carbonato-dietileno-glicol, foi desenvolvido para ser utilizado como lente óptica e é um dos mais utilizado na determinação da concentração de radão em habitações. Este detetor regista a presença de radiação alfa durante um determinado período de tempo. A passagem das partículas alfa provocam danos na estrutura molecular do detetor acabando por formar traços latentes. Este dispositivo garante traços regulares e um contraste ideal entre os traços e o próprio material plástico, que facilita a observação destes ao microscópio óptico [48].



Figura 47 - Detetor CR39 colado à tampa da respetiva câmara de difusão.

As vantagens da utilização destes dispositivos em detrimento de outros, são: o baixo custo, o facto de serem insensíveis à luz visível, às partículas beta e radiações gama, registarem de forma permanente os traços a revelar, possuírem uma boa eficiência de deteção e possibilitarem medições a longo prazo.

As desvantagens prendem-se com a necessidade de processamento laboratorial após exposição e o inconveniente de apresentarem erros de precisão, particularmente em locais onde a concentração de radão é muito baixa. Este tipo de detetores apresentam ainda a limitação de que a partir do momento em que é fabricado, está exposto a partículas alfa provenientes do ambiente. O número de traços presentes no detetor, antes da sua exposição no local a estudar denomina-se de background. De forma a controlar este problema, os detetores devem ser mantidos em sacos aluminizados e devidamente selados, antes e depois da exposição [48].



Figura 48 - Detetores CR39 selados após exposição.

Durante a exposição, o CR39 é colocado numa câmara de difusão cuja função é homogeneizar o processo de deteção do filme, garantindo que os traços registados sejam predominantemente os alvos de investigação. Estas câmaras podem conter filtros consoante alguma necessidade específica, nomeadamente filtros permeáveis ao radão.

No caso do presente trabalho não se utilizou nenhum filtro uma vez que os detetores estavam dentro de provetes selados.

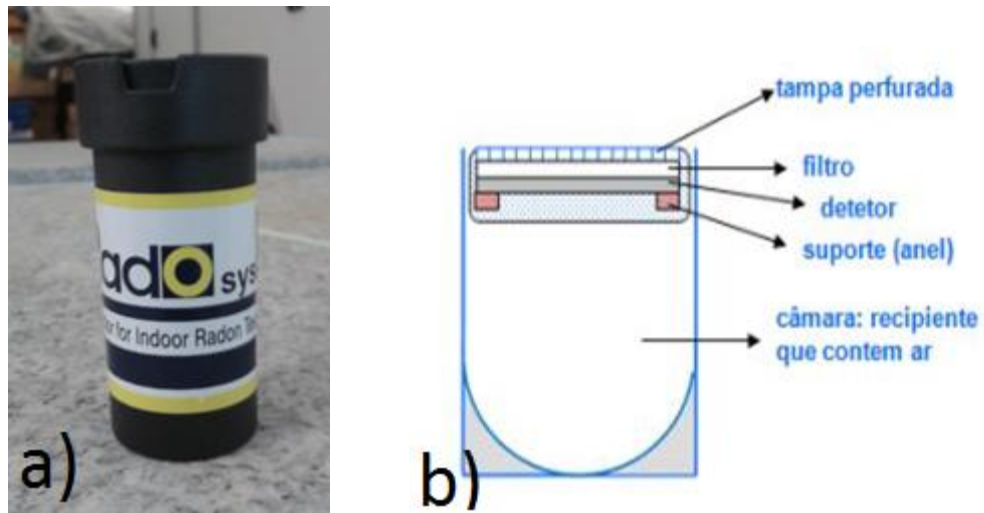


Figura 49 -a) Exemplo de câmara de difusão para detetores CR39 (à esquerda) [21] e b) Esquema do corte transversal de uma câmara de difusão usada em espaços interiores (à direita) [48].

5.3.2 Processo de revelação e contagem

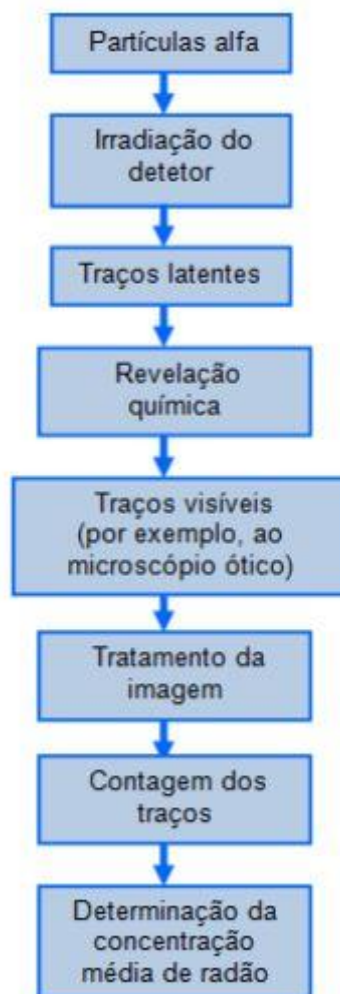


Figura 50 - Etapas para determinar a concentração média de radão usando um detetor de traços, adaptado de [48].

Para efetuar a revelação dos detetores CR39 deve ser utilizada uma solução de hidróxido de sódio, com uma concentração de 6.25 mol a 90 °C. É também necessário utilizar ácido acético e água destilada para preparar o banho de limpeza [21].



Figura 51 - Detetores CR39 dentro das respectivas câmaras de difusão.



Figura 52 - Remoção dos detetores CR39 das câmaras de difusão.

Após a ligação do aparelho NanoReader Bath (figura 27), espera-se cerca de 25 segundos e coloca-se 200 ml da solução de hidróxido de sódio no seu interior. De seguida espera-se o tempo necessário até que a solução atinja a temperatura normal de funcionamento de 90 °C. Quando o aparelho emite um sinal sonoro a indicar que a temperatura foi atingida, imerge-se no NanoReader Bath o suporte com os detetores durante 4 horas, sendo este o tempo necessário para efetuar a 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 [21].



Figura 53 - Unidade NanoReader Bath.

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

As seguintes relações permitem determinar os valores das velocidades V_b e V_t :

$$V_b = \frac{h}{t} , \quad (5)$$

$$V_t = \frac{l}{t} , \quad (6)$$

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 o 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). A solução é colocada num gobelé, onde é mergulhado o suporte com os detetores cerca de 10 minutos [21].



Figura 54 - Suporte com os detetores CR39 mergulhados na solução.

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 mergulhar os detetores num gobelé, com cerca de 200 ml de água destilada, durante 10 minutos.

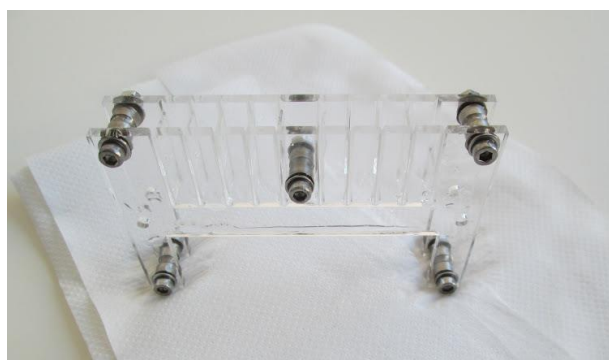


Figura 55 - Lavagem final do suporte com os detetores.

Assim que os detetores estejam bem secos, analisam-se individualmente no microscópio NanoReader, ligado a um computador que possui um software capaz de ler e quantificar de forma automática os traços, utilizando parâmetros de calibração fornecidos e atualizados pelo fabricante.



Figura 56 - Detetores CR39, secos e prontos a analisar.

O ataque químico da solução efetuado ao detetor, anteriormente, alarga cada traço. Estes ao serem observados através do microscópio óptico, podem assemelhar-se com círculos, elipses ou cones, permitindo que o microscópio NanoReader (ou similar) conte os traços, e assim, determine a densidade dos mesmos a partir do número de traços presentes numa determinada área.

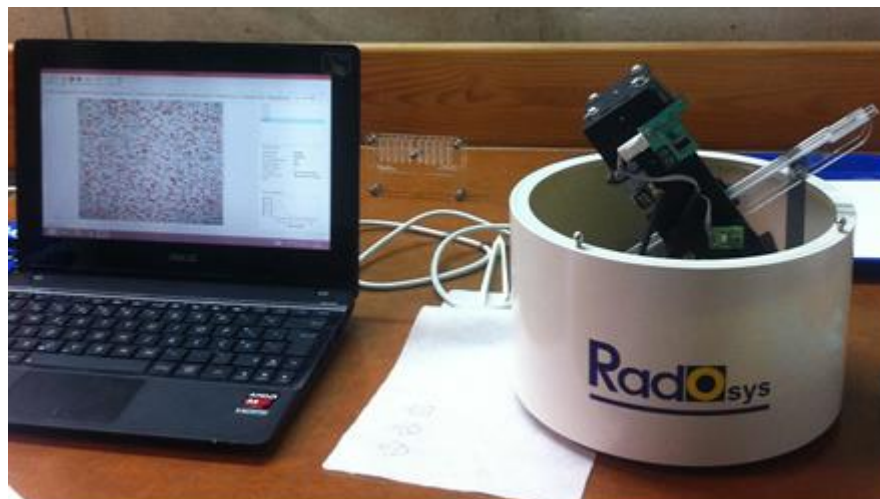


Figura 57 - Exemplo de Unidade NanoReader e computador com software apropriado.

Cada detetor é lido pelo menos duas vezes, com orientações diferentes, para que se obtenha uma boa análise da densidade dos traços. Para obter os resultados finais, após as várias leituras de cada detetor, é necessário colocar o tempo de exposição do mesmo, ou seja, a data em que foi colocado e retirado. Posto isto, o software mostra o resultado da concentração de cada leitura na unidade do sistema internacional, Bq/m^3 [21].

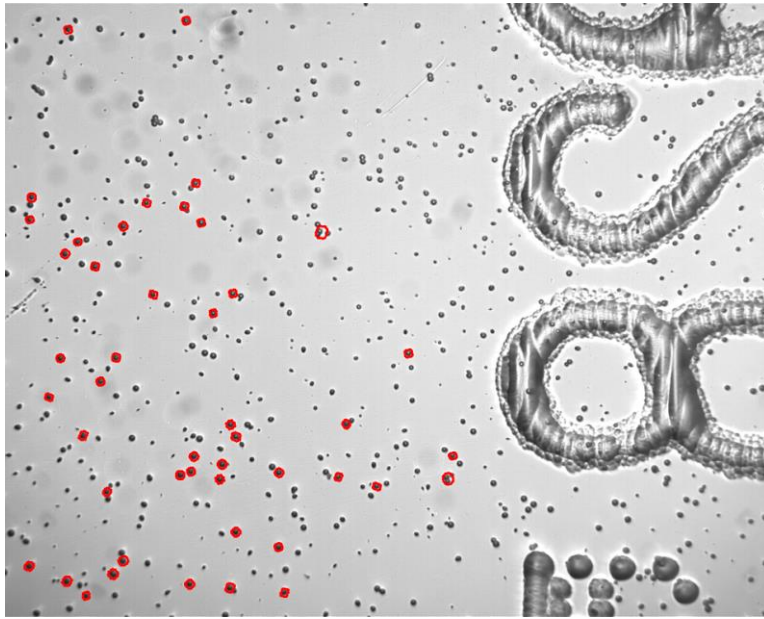


Figura 58 - Exemplo de detetor observado ao microscópio NanoReader.

A concentração de radão é determinada usando a seguinte equação [48]:

$$C_{Rn} = \frac{D}{K \cdot t} , \quad (7)$$

Sendo,

C_{Rn} - Concentração de radão (Bq/m^3);

D: Densidade de traços ($traços/cm^2$);

T: tempo de exposição (dias);

K: Eficiência do detetor ($traços \cdot cm^{-2} / Bq \cdot m^{-3} \cdot dias$)

Para determinadas concentrações de radão é necessário, além da densidade de traços no detetor e do tempo de exposição, a eficiência (K), também denominada de *fator de conversão de traços em concentração* ou, simplesmente, fator de calibração [48].

Capítulo 6 - Resultados das Medições

A revelação dos detetores foi efetuada no LabExpoRad mas a leitura das lentes óticas dos detetores passivos CR39 foi realizada no Laboratório de Radiação Natural, em Coimbra, uma vez que o este está equipado com um microscópio muito mais potente do que o LabExpoRad, apresentando erros muito inferiores, tendo o erro médio estimado de 7 % aquando da última participação em ensaios de intercalibração, sendo necessário ter este erro em conta na interpretação dos resultados.

Os resultados das leituras são produto de cinco passagens de cada detetor pelo microscópio, sendo o próprio software a calcular a média. Os valores apurados representam a concentração média de radão, em Bq/m³, as unidades mais utilizadas na Europa.

6.1 Resultados dos detetores nos provetes individuais

A tabela 14 apresenta os resultados da leitura dos detetores que se encontravam dentro dos provetes individuais, de modo a determinar a quantidade de radão gerado por cada tinta.

Tabela 14 - Resultados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes individuais.

Tinta	Referência do detetor CR39	Concentração média de Radão [Bq/m ³]	Número de dias de exposição
Tinta 1	223915	9	85
Tinta 2	225140	Erro	85
Tinta 3	223758	15	85
Tinta 4	223392	29	85
Tinta 5	225307	26	85
Tinta 6	223543	33	85
Tinta 7	223759	55	85
Tinta 8	224929	30	85

O detetor 225140, referente à tinta 2 apresentou erro uma vez que o microscópio não conseguiu distinguir os impactos na película pois estes ficaram pouco profundos e colados uns aos outros. Isto pode ser resultado de um número demasiado elevado de impactos, o que faz com que o microscópio não os distinga. Em anexo encontra-se uma versão mais detalhada dos resultados.

6.2 Resultados dos detetores nos provetes da 1ª Série

A tabela 15 apresenta os resultados da leitura dos detetores que se encontravam dentro dos provetes da primeira série. Estes permitem determinar em que grau as tintas limitam, ou não, a circulação de radão entre volumes.

Tabela 15 - Resultados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes da 1ª série.

Detetor	Referência do detetor CR39	Concentração média de Radão [Bq/m ³]	Número de dias de exposição
Fonte A	225130	5477	23
Tinta 1	225126	4477	23
Tinta 2	223750	5346	23
Tinta 3	223390	2408	23
Tinta 4	223531	6715	23
Fonte B	223769	114	23
Tinta 1	223768	348	23
Tinta 2	225122	2002	23
Tinta 3	225127	6619	23
Tinta 4	223517	9	23
Fonte C	225234	6332	23
Tinta 1	223940	6753	23
Tinta 2	225210	5966	23
Tinta 3	224999	1220	23
Tinta 4	223371	6758	23

Os resultados dos detetores presentes no provete da fonte B apresentam resultados inconsistentes e irregulares, com os detetores das tinta 3 e 2 a apresentarem uma concentração de radão muito superior em comparação com a Fonte B. Isto pode ser consequência de uma emissão muito elevada de radão pela fonte B resultando em detetores “queimados”, ou seja, excesso de traços impossibilitando o microscópio de fazer uma leitura correta.

Na página 110 em anexo encontra-se uma versão mais detalhada dos resultados.

6.3 Resultados dos detetores nos provetes da 2ª Série

A tabela 16 apresenta os resultados da leitura dos detetores que se encontravam dentro dos provetes da segunda série. Estes permitem determinar em que grau as tintas limitam ou não a circulação de radão entre volumes.

Tabela 16 - Resultados referentes à leitura das lentes óticas dos provetes da 2ª série.

Detetor	Referência do detetor CR39	Concentração média de Radão [Bq/m ³]	Número de dias de exposição
Fonte A	223939	5477	23
Tinta 5	223499	3488	23
Tinta 6	223754	2293	23
Tinta 7	223509	53	23
Tinta 8	223394	46	23
Fonte B	224915	348	23
Tinta 5	223943	4211	23
Tinta 6	223370	6648	23
Tinta 7	223376	6404	23
Tinta 8	223782	2518	23
Fonte C	224908	6753	23
Tinta 5	225134	5470	23
Tinta 6	225012	3783	23
Tinta 7	223904	1297	23
Tinta 8	223922	294	23

Tal como na primeira série os resultados dos detetores presentes no provete da fonte B, embora menos irregulares, continuam a apontar para a existência de um problema, com os detetores das tinta 6 e 7 a apresentarem uma concentração de radão muito superior em comparação com a Fonte B dando consistência ao problema apontando anteriormente.

Na página 110 em anexo encontra-se uma versão mais detalhada dos resultados.

Capítulo 7 - Conclusões

Processando os resultados referentes às leituras dos detetores e como que estes se encontram nas unidades mais usuais na Europa podem-se aferir algumas conclusões.

A figura 58 mostra os valores da concentração de radão, medida nos provetes individuais, como o detetor da tinta 2 deu erro, esta não consta no gráfico.

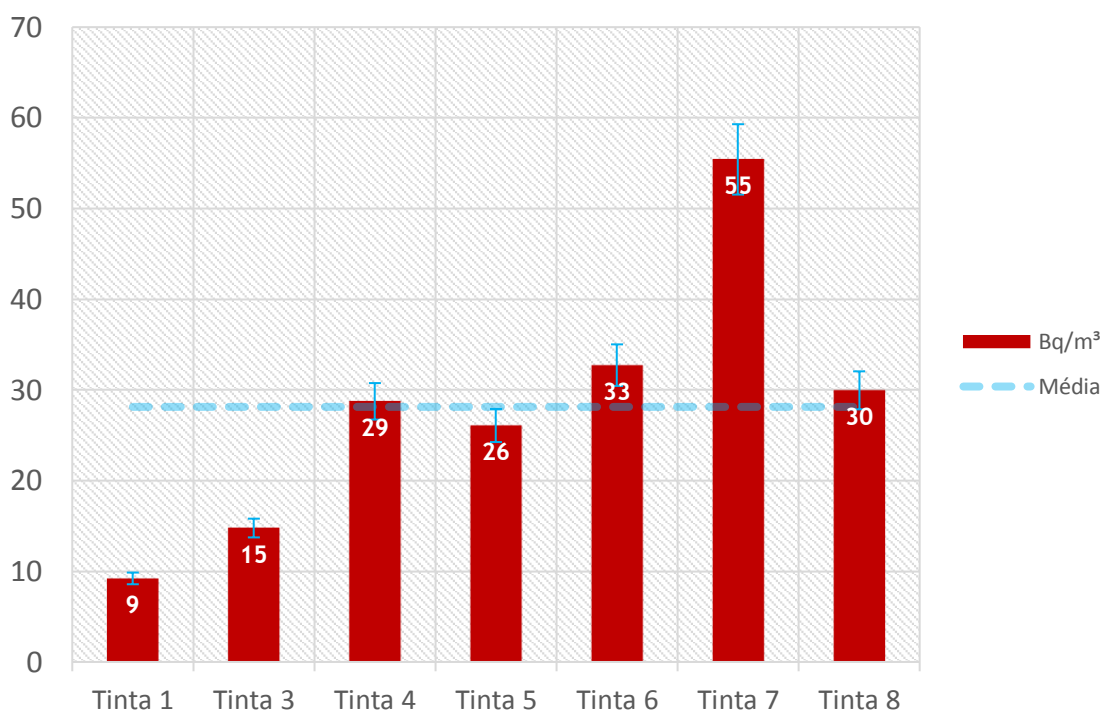


Figura 59 - Emissão de radão das tintas e média.

A partir dos valores do gráfico, pode-se observar que a tinta que produz maior quantidade de radão é a Tinta 7, apresentando um valor muito acima da média das tintas, em contraste as Tintas 1 e 3 apresentam valores muito inferiores à média. De facto, a Tinta 7 produz 6,11 vezes mais radão do que a Tinta 1. Ainda se pode constatar que a Tinta 5 apresenta uma pequena diminuição em relação à média e as Tintas 6 e 8 um pequeno incremento, com a Tinta 4 dentro da média.

A marca da tinta 7 e 8 é a Luxens. Através da observação da figura 59, no que corresponde às tintas referidas, é evidente a diferença significativa entre elas, sendo que apesar de serem da mesma marca, alguns dos seus componentes não serão os mesmos, o que causa a diferença em termos de emissão de radão.

A cor e o tipo de brilho, por si só, não são indicadores da quantidade de radão que vai ser emitido pelas tintas, uma vez que a mesma cor pode ser obtida com diferentes tipos de pigmentos, o mesmo acontece com os componentes que conferem o tipo de brilho. De acordo com a figura 59 as tintas 3, 6 e 7, todas elas de cor branca, apresentam valores de emissão de radão que vão desde os 15 Bq/m³ até 55 Bq/m³. Relativamente ao brilho verificou-se uma situação semelhante.

As tintas que podem ser aplicadas tanto no interior como no exterior apresentam uma emissão de radão dentro da média, como é o caso das tintas 4, 5 e 6. Quando a tinta se destina apenas ao uso no interior ou apenas ao uso no exterior, podem emitir quantidades bastante variadas de radão, não apresentando, por isso, valores conclusivos. Exemplo disto é a tinta 8, que emite 3,33 vezes mais radão que a tinta 1, sendo ambas tintas para uso no interior, e ainda, a tinta 7 que produz 1,90 vezes mais radão que a tinta 3, sendo ambas tintas para uso no exterior.

Em relação à formulação das tintas, nas emulsões a emissão de radão varia entre 9 Bq/m³ e os 33 Bq/m³, o que representa uma grande amplitude entre valores. Em relação às tintas que contêm copolímeros vinílicos na sua constituição também não há uma variação significativa, nomeadamente de 30 Bq/m³ até 33 Bq/m³, sendo estes valores muito próximos. Os acrílicos também não têm uma relação direta com a emissão de radão uma vez que a Tinta 1 e a Tinta 7 possuem acrílicos na sua formulação e são respetivamente as que apresentam menor e maior emissão do grupo.

A tinta com a menor emissão de radão é a tinta 1, sendo esta elaborada à base de copolímeros acrílicos, enquanto a tinta com maior emissão de radão é a tinta 7, do tipo membrana, sendo esta formulada com resinas acrílicas. Com base nestes fatos, pode concluir-se que apesar de ambas conterem acrílicos na sua composição, o método de fabrico ou a origem dos componentes podem estar na origem da grande diferença nos valores observados.

Destaca-se ainda a Tinta 1 com sólidos em volume entre 37,0 % e 43,5 %, a apresentar uma emissão de 9 Bq/m³, enquanto as Tintas 5 e 6 com sólidos em volume entre 50,0 % e 52,0 % e 55,0 % e 57,0 % respetivamente, apresentando a Tinta 5 a emissão de 26 Bq/m³ e a Tinta 6, 33 Bq/m³, o que aparenta indicar que quanto maiores os sólidos em volume, maior a emissão de radão.

Pode ainda concluir-se que, comparando as tintas analisadas com os resultados de outros materiais de revestimento estudados por Marcelo Mineiro na dissertação “Análise do comportamento de materiais de revestimento como barreiras ao Radão”, estas emitem, em média, menos radão do que materiais como o soalho com 94.4 Bq/m³, o flutuante com 47,6 Bq/m³ e o ladrilho porcelânico com 55,3 Bq/m³.

Embora a Tinta 7 apresente maior emissão de radão do que a tinta 1, isto pode não significar um maior risco para a saúde humana, devido ao tipo de utilização a que se destinam. Sendo a tinta 1 para uso interior, consequentemente contribui para a concentração de radão no interior onde as pessoas passam a maior parte do tempo, e onde o radão tendencialmente se concentra mais. A tinta 7, como se destina a uso no exterior, onde o ar é constantemente renovado, na maioria dos casos não vai causar nenhum incremento no ambiente envolvente. Só em casos excepcionais, as tintas para exterior poderão representar um risco elevado para a saúde humana, como por exemplo no caso de um edifício construído num terreno que se encontre numa cota inferior à dos terrenos adjacentes, causando uma acumulação de radão em volta do exterior do mesmo. Isto é plausível apenas tendo em conta a emissão das tintas, desprezando outros fatores como a permeabilidade.

Embora todas as tintas apresentem valores muito inferiores ao valor limite de concentração de radão na legislação em Portugal (400 Bq/m^3), deve ser sempre escolhida a tinta com a menor emissão de radão possível, uma vez que OMS recomendou a descida do valor limite e alerta que não existe um nível seguro de concentração de radão, recomendando que este seja sempre o mais baixo possível.

Em termos de permeabilidade ao radão, com os dados relativamente à primeira série podem-se elaborar os seguintes gráficos (sem os resultados da fonte B):

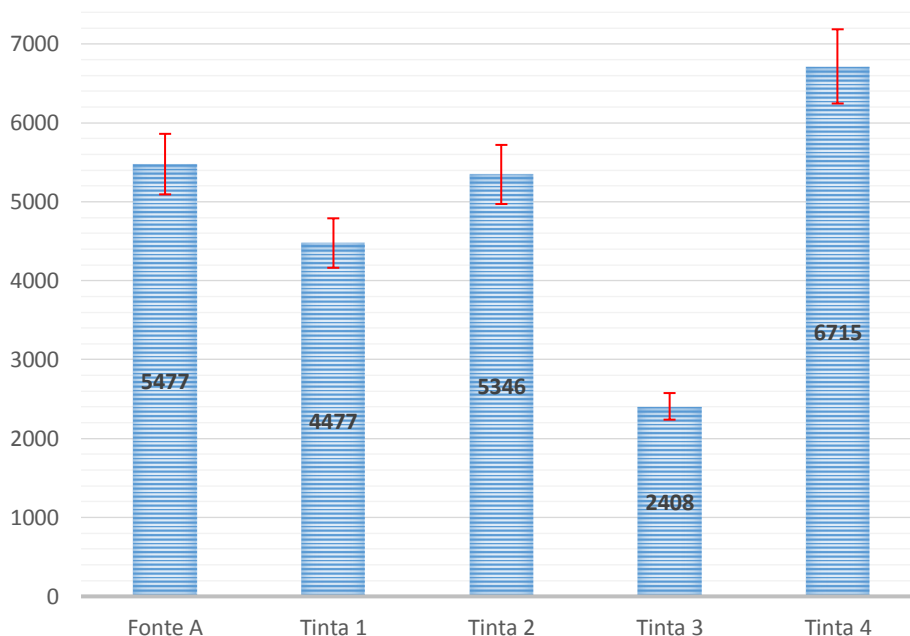


Figura 60- Resultados do provete da Fonte A para a primeira série com erro médio estimado de 7% (a vermelho), valores em Bq/m^3 .

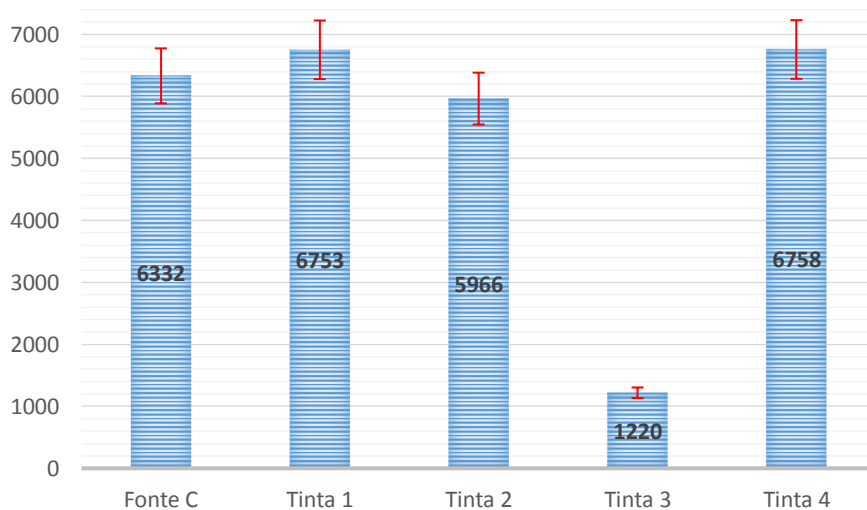


Figura 61 - Resultados do provete da Fonte C para a primeira série com erro médio estimado de 7 % (a vermelho), valores em Bq/m³.

De acordo com os gráficos representados nas figuras 60 e 61, pode observar-se que no volume da fonte C o valor para a concentração de radão foi aproximadamente 855 Bq/m³ superior ao da fonte A. No volume da Tinta 1 a concentração de radão diminuiu 1000 Bq/m³ em relação à fonte A e aumentou 520 Bq/m³ em relação à fonte C. No caso da tinta 2 houve uma diminuição em ambos, sendo a primeira de 131 Bq/m³ e a segunda de 366 Bq/m³. Na tinta 3 verificou-se o mesmo mas de uma forma muito mais significativa, sendo no primeiro caso de 3069 Bq/m³ e no segundo de 5112 Bq/m³. Por último, na Tinta 4 houve um aumento da concentração de radão nas duas situações, aumentando 1238 Bq/m³ em relação à fonte A e 426 Bq/m³ em relação à fonte C.

Com os dados relativamente à segunda série podem-se elaborar os seguintes gráficos (sem os resultados da fonte B):

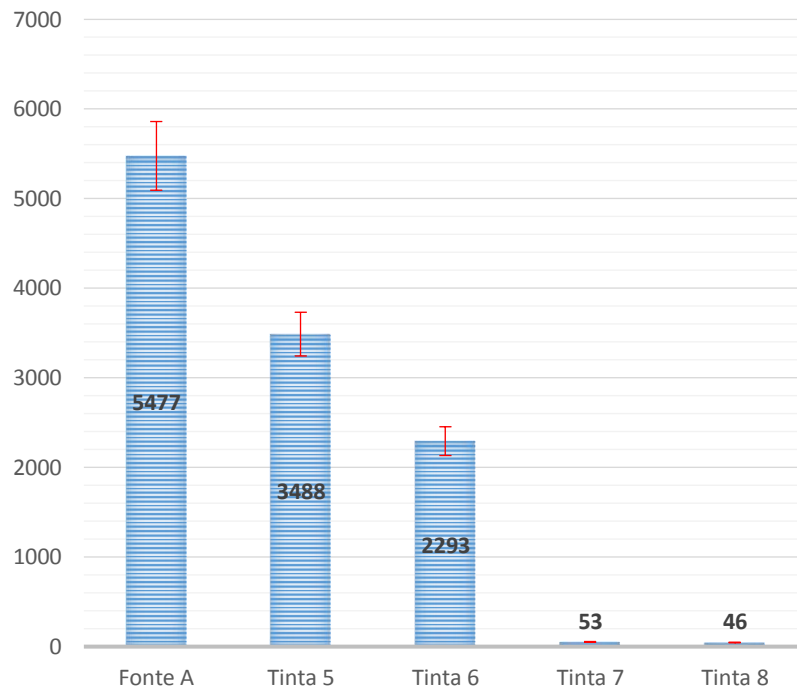


Figura 62 - Resultados do provete da Fonte A para a segunda série com erro médio estimado de 7 % (a vermelho, valores em Bq/m³).

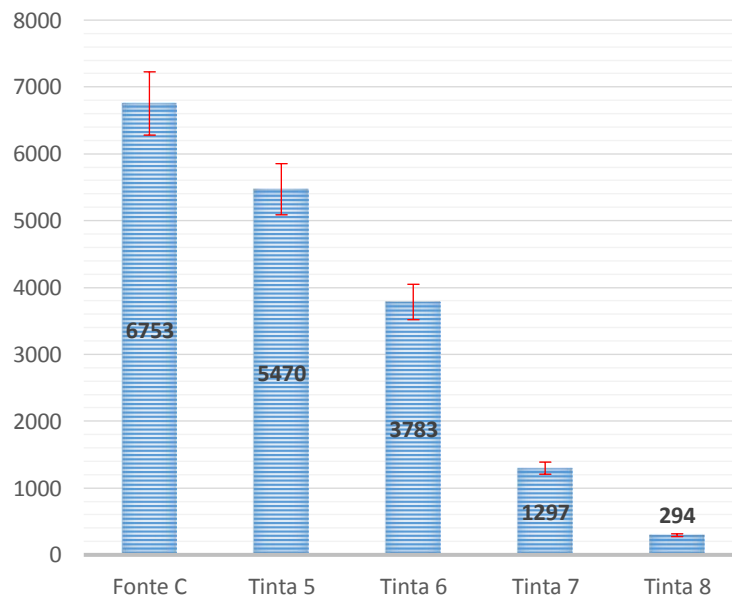


Figura 63 - Resultados do provete da Fonte C para a segunda série com erro médio estimado de 7 % (a vermelho), valores em Bq/m³).

Analisando os gráficos representados nas figuras 62 e 63, pode-se concluir que tal como na primeira, na segunda série no volume da fonte C foi superior ao registado na fonte A, sendo o valor para a concentração de radão aproximadamente 2317 Bq/m³, no volume da Tinta 5 a concentração de radão aumentou 131 Bq/m³ em relação à fonte A e diminuiu 204 Bq/m³ em relação à fonte C, no caso da Tinta 6 houve uma diminuição em ambos, sendo a primeira de 1064 Bq/m³ e a segunda de 1891 Bq/m³, na Tinta 7 aconteceu o mesmo mas de uma forma muito mais significativa sendo no primeiro caso de 3304 Bq/m³ e no segundo de 4377 Bq/m³ e por último na Tinta 8 foi a tinta que mais reduziu a concentração de radão tendo reduzido 3311 Bq/m³ em relação à fonte A e de 5380 Bq/m³ na C.

Normalizando os resultados em função das fontes é possível obter um gráfico que serve de indicador da impermeabilidade das tintas ao radão. Neste gráfico, quanto maior o valor, maior a redução da concentração de radão.

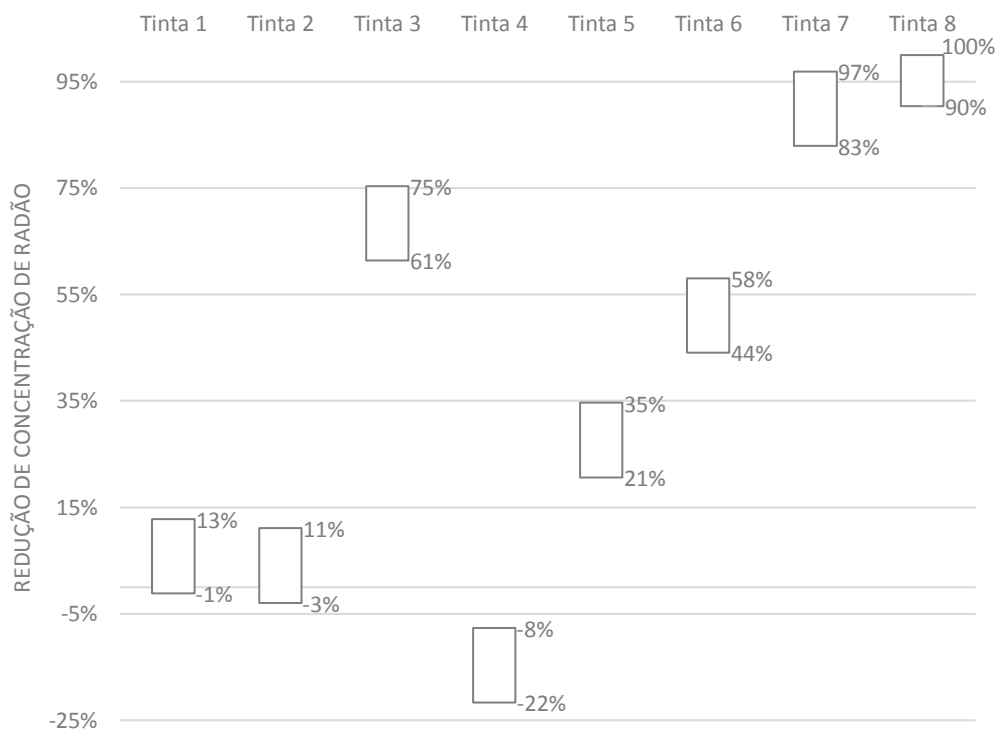


Figura 64 - Capacidade de impermeabilização das tintas analisadas.

Observando o gráfico representado na figura 64 da página anterior, pode-se concluir que as Tintas 1, 2 e 4 não se podem considerar barreiras de radão uma vez que deixam passar praticamente todo o radão existente no volume central para o volume que cada uma limita. A Tinta 5 consegue reduzir entre 21 % a 35 % a concentração de radão em relação à fonte e a Tinta 6 reduz entre 44 % a 58 %. A tinta 3 pode ser considerada uma boa barreira ao radão, uma vez que reduz a concentração entre 61 a 75 %. As Tintas 7 e 8 são excelentes barreiras ao radão, reduzindo entre 83 % a 97 % e 90 a 100 %, respetivamente, a concentração do radão.

Também podemos concluir que ambas as tintas da marca Luxens são excelentes barreiras ao Radão. Isto pode dever-se ao método de fabrico ou a algum componente específico usado pelo fabricante.

Não é possível estabelecer qualquer relação da cor das tintas com a capacidade de impermeabilidade ao radão.

As tintas que podem ser aplicadas tanto no interior como no exterior (em simultâneo) são permeáveis ao radão.

As tintas texturadas reduzem significativamente a circulação do radão, exemplo disso são a tinta 3 e a tinta 6.

As tintas de brilho tipo mate são permeáveis ao radão enquanto as tintas de brilho tipo acetinado são boas barreiras.

Tintas com formulações semelhantes podem apresentar permeabilidades distintas ao radão, como se pode constatar observando o comportamento da tinta 6 e da tinta 8, ambas fabricadas à base de copolímeros vinílicos.

Importa destacar que, pelo fato de uma tinta se apresentar como uma excelente barreira ao radão, não significa que esta seja sempre a melhor opção. Imagine-se, a título de exemplo, uma divisão de uma habitação, na qual ocorrem infiltração de radão através do piso ou qualquer outra zona que não seja as paredes. Se for aplicada uma tinta impermeável ao radão, nas paredes e no teto, esta vai impedir que o radão contido no interior seja dissipado através das paredes, podendo agravar a situação. Em casos como este seria mais indicada a aplicação de uma tinta permeável ao radão.

De acordo com o estudo apresentado anteriormente, concluiu-se que a formulação é o fator mais importante, tanto relativamente à emissão de radão como à permeabilidade ao mesmo. Devido à complexidade e variedade de formulações existentes, bem como à falta de informação prestada pelos fabricantes, como a ausência de uma descrição clara e detalhada de todos os constituintes e do método de fabrico de cada tinta, e ainda a ausência de outras informações como a permeabilidade ao ar e à água, entre outras, sem estas informações, cada tinta existente no mercado terá de ser avaliada individualmente

Em estudos futuros, seria interessante desenvolver um provete que permitisse analisar mais tintas em simultâneo e fabricar molduras em acrílico para facilitar a fixação dos materiais nos provetes, possibilitando a obtenção de um número muito maior de resultados.

Testar a troca da tinta numa situação real e comparar as medições de concentração de radão, antes e depois da mesma.

Analisar materiais em provetes com ventilação natural e ventilação forçada, simulando uma habitação. Por fim, também seria interessante estudar outros materiais de construção.

Os provetes foram realizados com o objetivo de simular a entrada ou a saída da concentração de radão através das paredes, percebendo em que medida as tintas, que cobrem grande parte das paredes no mundo inteiro, limitam ou facilitam a passagem do gás radão e ainda perceber o índice de concentrações de radão emitidos pelas várias tintas e assim ajudar a evitar concentrações elevadas dentro de edifícios, melhorando a qualidade de vida e a saúde das pessoas.

Quanto maior o conhecimento sobre o radão e os materiais, maior a capacidade de adotar soluções que permitam reduzir a concentração deste gás que tem um impacto muito grande na saúde dos seres humanos.

Referências Bibliográficas

- [1] W. H. Organization, “www.who.int,” 2009. [Online]. Available: http://www.who.int/ionizing_radiation/env/radon/en/. [Acedido em 25 06 2016].
- [2] D. A. Sarigiannis, “Combined or multiple exposure to health stressors in indoor built environments,” World Health Organization, Bonn, Germany, 2013.
- [3] W. H. Organization, “WHO Handbook on Indoor Radon - A Public Health Perspective,” World Health Organization, Geneva, 2009.
- [4] M. A. P. d. S. Amaral, “Sistemas de Ventilação Natural e Mistos em Edifícios de Habitação,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2008.
- [5] Ministério da Economia e do Emprego, *Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto*, Diário da República, 1.ª série - N.º 159 - 20 de agosto de 2013, 2013.
- [6] A. P. d. M. Martins, *A sustentabilidade na Reabilitação do Edificado*, Porto: Universidade Fernando Pessoa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014.
- [7] V. Córias, “<http://www.gecorpa.pt>,” 27 09 2007. [Online]. Available: http://www.gecorpa.pt/upload/documentos/reab_sustent1.pdf. [Acedido em 19 06 2016].
- [8] I. -. I. N. d. Estatística, “Censos 2001 - Resultados definitivos,” INE, Lisboa, 2002.
- [9] T. F. d. C. T. Lopes, *Reabilitação Sustentável de edifícios de Habitação*, Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2010.
- [10] A. FIEC, “Peso da reabilitação residencial na produção total da construção,” AECOPS, Lisboa, 2009.
- [11] B. E. F. Pereira, *A Crise na Construção e a Reabilitação como Solução*, Porto: Universidade Fernando Pessoa Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2012.
- [12] A. P. d. Ambiente, “Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Um guia Técnico,” Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Amadora, 2009.

- [13] J. L. d. Matos, “Qualidade do Ar Interior em Ambiente Hospitalar: Identificação de Poluentes, Fontes e Estratégias Para a Optimização dos Serviços de Saúde,” Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.
- [14] L. d. Q. d. A. Interior, “paginas.fe.up.pt,” [Online]. Available: http://paginas.fe.up.pt/~lqai/lqai_laboratorio.html. [Acedido em 26 07 2016].
- [15] N. D. D. D. Dr. Edward Group DC, “www.globalhealingcenter.com,” Global Healing Center, 27 Outubro 2014. [Online]. Available: <http://www.globalhealingcenter.com/natural-health/10-shocking-facts-indoor-air-quality-iaq/>. [Acedido em 26 Julho 2016].
- [16] C. M. P. Costa, “Estudo da Qualidade do Ar Interior num edifício departamental da UC,” Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.
- [17] Ministérios do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, da Saúde e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social, *Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro*, Diário da República, 1.ª Série - N.º 235 - 4 de dezembro de 2013, 2013.
- [18] L. Gue, “Revisiting Canada’s Radon Guideline,” David Suzuki Foundation, Vancouver, 2015.
- [19] M. I. d. M. Inácio, “A Física das Radiações no 3º Ciclo do Ensino Básico,” Universidade da Beira Interior - Ciências, Covilhã, 2011.
- [20] “Conceito.de,” [Online]. Available: conceito.de. [Acedido em 26 Julho 2016].
- [21] J. F. F. Monteiro, “Aplicação da Legislação 79/2006 de Qualidade do Ar Interior no que concerne ao Radão: Caso de Estudo de alguns materiais de construção correntes,” Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2014.
- [22] P. S. R. Soares, “Determinação da Concentração de Radão num Estabelecimento de Ensino Público,” Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2011.
- [23] Factor Segurança, Lda, “Radiações ionizantes e não ionizantes,” Tecnometal nº 150, 2004.
- [24] Nobel Prize Org, “Nobelprize.org,” Nobelprize.org, [Online]. Available: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/becquerel-facts.html. [Acedido em 27 Julho 2016].

- [25] Nobel Prize Org, “Nobel Prize Org,” Nobel Prize Org, [Online]. Available: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1903/pierre-curie-facts.html. [Acedido em 27 Julho 2016].
- [26] P. C. Alberto, “O modelo Padrão - Papo de botequim,” 26 Setembro 2008. [Online]. Available: papodebotequim.wordpress.com. [Acedido em 27 Julho 2016].
- [27] F. S. Pombar, “Contribuição para o Conhecimento da Contaminação de Solos Resultante da Laboração da Indústria Extractiva Mineira,” Universidade da Beira Interior - Departamento de Engenharia, Covilhã, 2011.
- [28] J. Fogaça, “Emissão alfa,” [Online]. Available: <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/emissao-alfa.htm>. [Acedido em 23 Agosto 2016].
- [29] L. Czarnecki, “Nuclear physics,” 12 Outubro 2002. [Online]. Available: http://www.mwit.ac.th/~physicslab/applet_04/atom2/Kern2e.htm. [Acedido em 24 Agosto 2016].
- [30] R. R. B. Mendes, *Dosimetria*, Coimbra: Universidade de Coimbra - Departamento de Física, 2009.
- [31] Laboratório de Radioatividade Natural, “Laboratório de Radioatividade Natural,” Universidade de Coimbra, 2014. [Online]. Available: <http://www.uc.pt/fctuc/dct/investigacao/labRadioNatural>. [Acedido em 30 Agosto 2016].
- [32] Instituto Tecnológico e Nuclear - Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear, *Radão - Um gás radioactivo de origem natural*, Lisboa: Instituto Superior Técnico - Universidade de Lisboa.
- [33] F. P. Carvalho, “A água e os radionuclidos das famílias radioactivas naturais,” *Captar - Ciência e ambiente para todos*, vol. 2, nº 2, 2010.
- [34] F. P. Carvalho, “Radão e Edifícios. Qualidade do Ar Interior,” *Captar - Ciência e ambiente para todos*, vol. 1, nº 2.
- [35] Interior Radiation - Protection Services Ltd, “How Radon Enters Your Home,” [Online]. Available: <http://www.irps.info/faqs/how-does-radon-get-into-my-home/>. [Acedido em 1 Setembro 2016].

- [36] J. C. Viegas, “Ventilação natural em edifícios de habitação,” [Online]. Available: mestrado-reabilitação.f.a.utl.pt. [Acedido em 2 Setembro 2016].
- [37] M. J. M. d. M. F. e. M. J. P. Coelho, “O radão nos edifícios - minimização da perigosidade,” Universidade Fernando Pessoa, Porto.
- [38] F. P. Torgal, *Gás radão: um perigoso contaminante do ar no interior de habitações*, Maquinaria, 2013.
- [39] L. Fior, “Análise da concentração de Radônio proveniente dos materiais de construção,” Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- [40] C. Ribeiro, “Emissão de Radão em Materiais de Construção,” Instituto Politécnico da Guarda, Guarda, 2009.
- [41] Veja, “Arte rupestre de caverna francesa é a mais antiga já encontrada, diz estudo,” 11 maio 2012. [Online]. Available: <http://veja.abril.com.br/ciencia/arte-rupestre-de-caverna-francesa-e-a-mais-antiga-ja-encontrada-diz-estudo/>. [Acedido em 23 Agosto 2016].
- [42] Associação Portuguesa de Tintas, “Breve História das Tintas,” Associação Portuguesa de Tintas, [Online]. Available: <http://www.aptintas.pt/breveHistoriaTintas.aspx>. [Acedido em 24 Agosto 2016].
- [43] M. S. d. Rio, “On the Raman spectrum of Maya Blue,” *Journal of Raman Spectroscopy*, vol. 37, nº 10, pp. 1046-1053, 20 Setembro 2006.
- [44] F. P. F. M. Marques, *Tecnologias de aplicação de pinturas e patologias em paredes de alvenaria e elementos de betão*, Lisboa: Instituto Superior Técnico Lisboa, 2013.
- [45] ISO 4618:2006, *Paints and varnishes - Terms and definitions*, first edition ed., ISO, 2006.
- [46] N. R. Roobol, *Industrial Painting & Power Coatings: Principles and Practices*, 3rd Edition ed., Cincinnati, Ohio: Hanser Gardner Publications, 2003.
- [47] M. M. Lopes, “Análise do comportamento de materiais de revestimento como barreiras de Radão,” Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2015.
- [48] A. R. C. Louro, “Da Temática do Radão na região da Guarda à construção de um modelo microdosimétrico - Caso particular do Acino pulmonar humano,” Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.

- [49] Wikipédia, “Ernest Rutherford,” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ernest_Rutherford. [Acedido em 22 Agosto 2016].
- [50] Wikipédia, “Wilhelm Conrad Rontgen,” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Conrad_R%C3%B6ntgen. [Acedido em 22 Agosto 2016].
- [51] Wikipédia, “Marie Curie,” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie. [Acedido em 22 Agosto 2016].
- [52] Wikipédia, “Pierre Curie,” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Pierre_Curie. [Acedido em 22 Agosto 2016].
- [53] Wikipédia, “Antoine Henri Becquerel,” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Antoine_Henri_Becquerel. [Acedido em 22 Agosto 2016].

Anexos