



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

GUIA PARA PREVENÇÃO DA ADMISSÃO DE RADÃO EM EDIFÍCIOS NOVOS

Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.

Lisboa • dezembro de 2020

I & D DEPARTAMENTO

RELATÓRIO 480/2020 – DED/NAICI

GUIA PARA PREVENÇÃO DA ADMISSÃO DE RADÃO EM EDIFÍCIOS NOVOS

Autoria

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS

Luís Eduardo Pimentel Real

Investigador Auxiliar, Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações

Jorge M. Grandão Lopes

Investigador Principal, Diretor do Departamento de Edifícios

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

João Carlos Viegas

Investigador Principal com Habilitação, Diretor do Centro de Instrumentação Científica

Colaboração

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS

António Baptista Coelho

Investigador Principal com Habilitação, Núcleo de Estudos Urbanos e Territoriais

DIREÇÃO DE SERVIÇOS DE RECURSOS HUMANOS E LOGÍSTICA

Hélder David Lopes Oliveira

Técnico Superior, Divisão de Divulgação Científica e Técnica

Copyright © Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I. P.
Av. do Brasil 101 • 1700-066 Lisboa
e-mail: Inec@Inec.pt
www.Inec.pt

Relatório 480/2020

Proc. 0809/1201/22300

GUIA PARA PREVENÇÃO DA ADMISSÃO DE RADÃO EM EDIFÍCIOS NOVOS

Resumo

Neste guia descreve-se um conjunto de técnicas visando a prevenção da admissão do radão, em edifícios novos, com base em soluções utilizadas em outros países, designadamente no Reino Unido e nos Estados Unidos da América, cuja aplicabilidade pode ser extensível a Portugal.

O guia é complementado com a indicação de outras soluções específicas de redução das concentrações de radão que sejam aplicáveis ao tipo de edifícios a construir em Portugal.

Palavras-chave: Radão / Técnicas de prevenção / Edifícios

PREVENTION GUIDE OF RADON ENTRY INTO NEW BUILDINGS

Abstract

This guide describes a set of techniques aiming to the prevention of radon inflow in new buildings, based on solutions used in other countries, namely in United Kingdom and United States of America, whose applicability can be extended to Portugal.

The guide is complemented by the indication of other specific solutions for radon concentration reduction that apply to the type of buildings to be built in Portugal.

Keywords: Radon / Prevention techniques / Buildings

Sumário executivo

O radão é um gás radioativo incolor e inodoro que pode atingir concentrações relativamente elevadas em espaços fechados, no interior de edifícios, e conseqüentemente com impactos muito negativos na saúde dos moradores e utilizadores das respetivas edificações.

Este relatório do LNEC, dirigido a edifícios novos, apresenta diversas técnicas de prevenção do problema resultante da admissão de gás radão, e elenca recomendações específicas relativamente a cada uma delas.

As soluções apresentadas baseiam-se fundamentalmente na literatura de referência internacional, em particular nos guias elaborados pelo British Research Establishment (BRE) e pela US Environmental Protection Agency (EPA), tendo sido adaptadas à realidade nacional. O conteúdo deste documento poderá ser adotado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) para a constituição de um guia Português de prevenção do radão no interior de novos edifícios, no âmbito do Plano Nacional para o Radão a elaborar por esta Agência.

As medidas de prevenção apresentadas permitem concluir que a instalação de um sistema de proteção ao radão no piso térreo ou em contacto com o terreno, constituído por uma barreira ao radão, traduzida pela aplicação de membranas ou filmes prefabricados, complementada por sistema de depressurização do solo sob o pavimento térreo ou sob a membrana, constitui uma medida extremamente eficaz e permite atingir elevadas reduções de concentração do radão no interior dos edifícios.

A melhoria da ventilação natural e mecânica nos pavimentos enterrados, como é o caso das caves (onde é provável que se atinjam as concentrações mais elevadas de radão no edifício), ou em outros espaços do edifício, constitui também uma medida eficaz para reduzir os níveis do gás radão no seu interior, podendo ser suficiente quando esses níveis são relativamente baixos e não sejam aplicados outros sistemas de proteção mais eficazes.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Organização do documento	1
2	Descrição sucinta do problema	2
2.1	O radão no interior dos edifícios	2
2.2	Enquadramento legal	3
2.3	Fatores influenciadores do nível de proteção	3
2.3.1	Elementos em contacto com o terreno	3
2.3.2	Considerações sobre pavimentos	5
2.3.3	Considerações sobre paredes	6
2.3.4	Considerações sobre tetos	7
2.3.5	Zonas de comunicação interiores entre espaços	7
3	Metodologia de prevenção	8
3.1	Estudo prévio	8
3.2	Projeto e execução	8
3.3	Precauções adicionais	9
4	Medidas de prevenção	11
4.1	Considerações gerais	11
4.2	Vedação com aplicação de membranas prefabricadas	11
4.2.1	Generalidades	11
4.2.2	Detalhes construtivos na aplicação de membranas prefabricadas	13
4.2.3	Especificação das membranas	17
4.2.4	Técnicas de aplicação das membranas	21
4.3	Despressurização do terreno	24
4.3.1	Generalidades	24
4.3.2	Breve descrição dos sistemas	24
4.3.3	Casos particulares de sistemas de despressurização do terreno debaixo da laje térrea	33
4.3.4	Recomendações sobre os sistemas de ventilação para despressurização	38
4.4	Ventilação natural	41
4.4.1	Generalidades	41
4.4.2	Ventilação natural de caves	42
4.4.3	Ventilação natural de arrecadações exteriores às habitações	43
4.4.4	Ventilação natural em zonas de comunicação interiores	45
4.4.5	Ventilação natural em parques de estacionamento fechados	46
4.4.6	Recomendações	46
4.5	Ventilação mecânica	47
5	Custos das intervenções	49
6	Conclusões	51
	Referências bibliográficas	53

Índice de figuras

Figura 2.1 – Cave completa (vista em perspetiva e corte).....	4
Figura 2.2 – Cave parcial (vista em perspetiva e corte).....	4
Figura 2.3 – Semicave completa (vista em perspetiva e corte)	5
Figura 2.4 – Semicave parcial (vista em perspetiva e corte)	5
Figura 4.1 – Exemplo típico do aspeto de uma membrana contra o radão	12
Figura 4.2 – Imagem da instalação de uma membrana de proteção ao radão num edifício em construção.....	12
Figura 4.3 – Detalhe de uma membrana instalada numa fundação em cotas diferentes	13
Figura 4.4 – Ilustração do remate de vedação entre a membrana do pavimento e uma parede	15
Figura 4.5 – Ilustração de pormenor do reforço da membrana na zona de atravessamento da conduta de um sistema de despressurização instalado abaixo do pavimento	15
Figura 4.6 – Pormenor do reforço da membrana na zona de atravessamento de um pilar metálico... ..	16
Figura 4.7 – Membrana sobre um pavimento e respetivos remates com as paredes e tubagens: a) membrana anti radão; b) manta geotêxtil de proteção da membrana ilustrada em (a); ...	17
Figura 4.8 – Exemplo de sistema de despressurização do solo.....	25
Figura 4.9 – Exemplo de sistema de despressurização do terreno debaixo da laje térrea, com ventilador localizado no interior do edifício (isolado dos espaços ocupados).....	26
Figura 4.10 – Exemplo de sistema de despressurização do terreno debaixo da laje térrea, com condutas e ventilador localizados no exterior.....	26
Figura 4.11 – Exemplo de sistema de despressurização do terreno debaixo da laje térrea de uma cave, com condutas e ventilador localizados no exterior	27
Figura 4.12 – Exemplo de sistema de câmara subterrânea instalada sob o pavimento de uma cave, com condutas e ventilador localizados no exterior	27
Figura 4.13 – Esquema de atravessamento, pela parede, da conduta proveniente da câmara subterrânea com saída no exterior, acima do nível do solo, deixada inativa na construção para eventual utilização futura	29
Figura 4.14 – Ilustração de vários tipos e formatos de câmaras de aspiração subterrâneas prefabricadas	30
Figura 4.15 – Ilustração de um sistema prefabricado de despressurização do terreno debaixo da laje, contendo as câmaras de aspiração, as condutas e as respetivas tampas, que serão retiradas e posteriormente ligadas ao sistema de exaustão	31
Figura 4.16 – Ilustração esquemática de vários tipos de câmara de despressurização do terreno possíveis de ser construídas no local da obra.....	31
Figura 4.17 – Detalhe construtivo de um sistema de despressurização do terreno debaixo da laje térrea com câmara construída no local da obra	32
Figura 4.18 – Ilustração de duas câmaras ligadas, uma do edifício ampliado e outra do existente	32
Figura 4.19 – Exemplo de sistema de câmara subterrânea afastada de paredes exteriores, com conduta e ventilador localizados no exterior.....	34
Figura 4.20 – Sistema de despressurização com câmara subterrânea junto a uma parede exterior, com conduta e ventilador localizados também no exterior.....	34
Figura 4.21 – Exemplo de sistema múltiplo constituído por duas câmaras subterrâneas e um único ventilador.....	35
Figura 4.22 – Esquema simplificado de um sistema de aspiração de radão por tubos de drenagem pluvial e depósito subterrâneo	37
Figura 4.23 – Esquema simplificado de um sistema de aspiração pelas aberturas dos tijolos ou blocos perfurados de paredes enterradas	38
Figura 4.24 – Ilustração de grelha de ventilação regulável manualmente para janelas	43

1 | Introdução

1.1 Enquadramento

A Agência Portuguesa do Ambiente, I.P., solicitou ao LNEC colaboração para a elaboração de dois guias, um deles relativo à mitigação e o outro sobre a prevenção da presença do gás radão em edifícios; o primeiro visando as técnicas de mitigação da presença de elevadas concentrações de radão em edifícios existentes e o segundo contendo as especificações técnicas de prevenção da presença desse gás em edifícios novos.

Antes da construção de edifícios novos, é necessário identificar um conjunto de técnicas de prevenção que permitam impedir, ou pelo menos limitar substancialmente, a admissão de radão no seu interior, tendo em conta a sua especificidade, tal como o tipo de construção e a sua localização, o tipo de solos, o tipo de edifício, o tipo de fundações, o tipo de pavimentos térreos, os materiais utilizados na construção, entre outros aspetos que podem influenciar a entrada de radão nos edifícios, e contribuir, em maior ou menor grau, para o sucesso das medidas de prevenção.

O presente documento visa dar satisfação ao segundo objetivo, ou seja, indicando técnicas de prevenção aplicáveis aos edifícios a construir em Portugal.

1.2 Organização do documento

O presente relatório encontra-se organizado da seguinte forma:

- O Capítulo 1 constitui a presente introdução;
- No Capítulo 2 apresenta-se a descrição geral do problema e refere-se o seu enquadramento legal;
- No Capítulo 3 apresenta-se a metodologia de prevenção;
- No Capítulo 4 apresentam-se as diversas medidas de prevenção e fazem-se recomendações relativamente a cada uma delas;
- No Capítulo 5, faz-se uma abordagem aos custos de cada tipo de intervenção e listam-se os fatores influenciadores no custo global das medidas de prevenção apresentadas;
- Por fim, no Capítulo 6, apresentam-se as conclusões.

2 | Descrição sucinta do problema

2.1 O radão no interior dos edifícios

O radão penetra facilmente em espaços fechados, como o interior de edifícios, podendo atingir concentrações relativamente altas em algumas circunstâncias. A redução da ventilação natural, designadamente através da caixilharia e caixas de estore, resultante de obras de reabilitação para melhoria de eficiência energética, associada à utilização de soluções, nomeadamente em paredes de fachada, com materiais menos permeáveis aos gases, são dois fatores que podem contribuir para um aumento dos níveis de radão no interior dos edifícios, caso estes nunca tenham sido dotados de meios de prevenção de admissão de radão (de preferência aquando da sua construção).

É frequente a existência de pequenas fissuras nos pisos e nas paredes das edificações, formadas durante e após a construção, devido a diversas causas, como os assentamentos diferenciais de fundações, os movimentos de origem térmica, ou as acomodações ou ajustes entre os vários elementos da construção; ou a existência de aberturas intencionalmente criadas para a passagem de tubos e cabos, bem como as naturalmente existentes nos acabamentos de pisos, paredes e tetos, e em juntas de dilatação. A dimensão e quantidade destas fissuras ou aberturas depende também das características dos acabamentos das paredes e dos pavimentos e tetos, e da qualidade da sua execução. O radão existente no solo penetra no edifício através dessas fissuras ou aberturas porque a pressão atmosférica no seu interior é geralmente inferior à pressão no solo subjacente, devido, por um lado, a diferenças de temperatura entre o interior do edifício (em geral mais quente) e o solo (em geral mais frio), fenómeno designado correntemente por efeito chaminé, e, por outro lado, aos efeitos da ação do vento.

O radão também pode existir na água, e, através desta, libertar-se no interior do edifício, quando a água é usada para tomar banho e para outras atividades domésticas (EPA, 2012). É mais provável verificar-se a presença de radão na água quando a sua origem provém da água subterrânea, como por exemplo um furo artesiano, um poço privado ou um sistema público de abastecimento de água que use água subterrânea, pois nestes casos a água pode estar em contacto com o urânio que se encontra naturalmente presente nos solos, não sendo geralmente um problema quando a sua origem provém da água em escoamento livre sobre o terreno (água à superfície)

Por fim, é também de referir que existem vários materiais de construção, utilizados nos edifícios, em que a exposição a radiações ionizantes não é desprezável (Madruça *et al*, 2019).

2.2 Enquadramento legal

O Decreto-Lei n.º 108/2018 estabelece o regime jurídico da proteção radiológica, transpondo a Diretiva 2013/59/Euratom. Esta Diretiva fixa as normas de segurança de base relativas à proteção contra os perigos resultantes da exposição a radiações ionizantes.

O referido enquadramento legal destina-se, designadamente, a atividades humanas que estejam em presença de fontes de radiação natural conducentes a um aumento significativo da exposição de trabalhadores ou da população, em especial às fontes que conduzam à presença de radão no interior dos edifícios, à exposição exterior às radiações provenientes de materiais de construção e a situações de exposição prolongada a este gás.

Com a entrada em vigor do Decreto-Lei nº 108/2018, que ocorreu em 2 de abril de 2019, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) passou a ser a nova Autoridade Competente nesta matéria. A Inspeção Geral da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território (IGAMAOT) passou a ser a nova entidade inspetora.

2.3 Fatores influenciadores do nível de proteção

2.3.1 Elementos em contacto com o terreno

Para efeitos de avaliação do risco de exposição ao radão, os edifícios são geralmente classificados de acordo com o tipo de construção, sendo de realçar o tipo de fundação ou de elementos construtivos em contacto com o terreno (caves enterradas, total ou parcialmente, pavimentos térreos de betão assentes diretamente no terreno), ou de pavimentos sobrelevados em relação ao terreno (com desvão sanitário¹).

Em certos casos, pode ter-se vários tipos de fundação no mesmo edifício, ou de elementos construtivos em contacto direto ou não com o terreno, cada qual numa parte do edifício; nessas situações, pode ser necessário aplicar uma combinação de técnicas de redução de radão para níveis convergentes com o nível de referência.

A concentração de radão é normalmente maior nos espaços localizados na proximidade do terreno, principalmente em caves, parcial ou totalmente enterradas, geralmente aproveitadas como adegas, dispensas, arrecadações e garagens, ou seja, como espaços de ocupação menos permanente ou frequente.

As caves, as fundações e os embasamentos de uma edificação podem definir-se como completas quando ocupam o perímetro completo do edifício (Figura 2.1), ou parciais quando ocupam apenas uma

1: Desvão sanitário é um espaço com altura reduzida, construído por baixo do pavimento e sobre o terreno natural, onde podem ser instaladas tubagens diversas (canalização e cabos de circuitos elétricos) ou outros equipamentos.

parte do perímetro do edifício (Figura 2.2). Nas caves, completas ou parciais, as paredes funcionam como muros de contenção do terreno.



Figura 2.1 – Cave completa (vista em perspectiva e corte)



Figura 2.2 – Cave parcial (vista em perspectiva e corte)

Quando as caves têm pelo menos uma ou mais paredes em contacto com o exterior, esses espaços designam-se por semicaves, podendo ainda a semicave ser completa (Figura 2.3) ou parcial (Figura 2.4).



Figura 2.3 – Semicave completa (vista em perspectiva e corte)



Figura 2.4 – Semicave parcial (vista em perspectiva e corte)

Ocasionalmente os espaços enterrados estendem-se para além do perímetro do edifício, como acontece em alguns casos de edifícios em altura, com zonas destinadas a parques de estacionamento subterrâneo.

Deve evitar-se a construção de paredes ou pavimentos utilizando materiais provenientes das escavações da construção das edificações, em particular os de regiões com nível médio ou alto de radão.

2.3.2 Considerações sobre pavimentos

A concentração de radão em espaços interiores, especialmente os localizados total ou parcialmente abaixo do nível do terreno, pode ainda variar de acordo com o tipo de soluções construtivas, incluindo os respetivos materiais dos pavimentos, paredes e tetos. Vários tipos de soluções podem ser usados em pavimentos térreos de edifícios novos. Enumeram-se a seguir as que mais correntemente são utilizadas em Portugal: camada de betão (geralmente armado) aplicada sobre um massame de betão pobre, ensoleiramento geral (em betão armado), laje maciça ou aligeirada de betão armado sobrelevada do terreno, criando um caixa de ar subjacente, ou, simplesmente, lajetas de pedra natural

assentes sobre um massame de betão ou argamassa. É claro que poderão ainda realizar-se pavimentos com base em pranchas ou réguas de madeira, ou numa estrutura mista de aço-betão, nestes casos sempre sobrelevados do terreno.

Como os espaços enterrados de edifícios são habitualmente mais desocupados que os espaços acima do terreno – normalmente aqueles são usados para armazenamento de produtos diversos –, podem não se colocar tantos cuidados de prevenção de penetração do radão na adoção das respetivas soluções construtivas, nomeadamente nos acabamentos dos correspondentes paramentos interiores.

De qualquer modo, na construção de um novo edifício, deve evitar-se a utilização massiva de materiais de construção com atividade radioativa intrínseca, em particular o granito, devido à possibilidade da exalação de radão para o espaço interior.

Os pavimentos térreos, de caves ou não, devem ser bem executados de modo a evitar a presença de aberturas ou fissuras que facilitem o encaminhamento do radão para o interior dos edifícios. As juntas resultantes das aberturas criadas no pavimento para passagem de cabos ou tubagens diversas devem ser completamente vedadas.

As membranas prefabricadas (betuminosas ou sintéticas) de impermeabilização de fundações e pavimentos térreos (sejam eles de caves ou não), contribuirão francamente para reduzir o fluxo de radão para o interior do edifício e permitem também evitar ou reduzir a ascensão capilar da água do terreno.

No caso de se construírem pavimentos sobrelevados da superfície do terreno, criando, portanto, uma caixa de ar sob os mesmos, devem-se implementar também aí as soluções de prevenção do fluxo de radão para o interior do edifício.

2.3.3 Considerações sobre paredes

As soluções de paredes exteriores ou interiores mais usuais em Portugal são formadas por tijolos cerâmicos ou blocos de betão, ou apenas de betão armado. Em edifícios de pequeno porte, podem ainda usar-se paredes de alvenaria de pedra. Em paredes divisórias ou em contra-fachadas, é frequente, especialmente em edifícios de serviços, recorrer-se ao uso de painéis pré-fabricados leves, como os de gesso cartonado ou de madeira ou seus derivados.

Note-se que os revestimentos de paredes com argamassas ou com base em gesso, acabados ou não com uma pintura, não constituem soluções eficazes à entrada do radão, especialmente se a fissuração for generalizada, mesmo que ligeira. Esta situação é evidentemente mais gravosa se essas paredes forem enterradas. Naturalmente que devem ser seguidas as técnicas correntes de execução de paredes, preenchendo totalmente as juntas entre os elementos que a constituem, em geral com base em argamassas de assentamento de tijolos ou blocos. Devem por isso evitar-se a colocação destes elementos com juntas secas (juntas sem preenchimento).

Pretende-se assim evitar a adoção de futuras medidas de mitigação do radão após a construção.

A presença continuada da água proveniente do terreno nas paredes é naturalmente um contributo para a sua degradação, bem como dos elementos construtivos que nela se apoiem (como por exemplo pavimentos ou vigas de madeira), facilitando assim a passagem do radão. Recomenda-se, portanto, que as paredes das caves disponham de barreiras de proteção contra o radão, utilizando, por exemplo, soluções de impermeabilização semelhantes às descritas para os pavimentos térreos.

2.3.4 Considerações sobre tetos

Para os pavimentos intermédios (que constituem os tetos de pisos) recomenda-se uma construção em lajes maciças ou aligeiradas de betão armado, ou em lajes aligeiradas com elementos prefabricados (por exemplo, vigotas e abobadilhas). Com estas soluções reduz-se a permeabilidade ao fluxo do radão. Note-se que, nestes casos, os pontos mais críticos são as juntas que se criam com o atravessamento da laje por tubagens diversas, as aberturas nelas realizadas e a fendilhação dos materiais constituintes do pavimento. Os tetos falsos que possam ser previstos, também pouco contribuem para reduzir o fluxo do radão, se não forem totalmente estanques (como é o caso de placas de gesso cartonado, aplicadas de forma contínua, criando uma caixa de ar sobrejacente estanque ao ar). Tetos falsos correntes formados por réguas de madeira, de plástico ou metálicas, com juntas entre si, não devem ser considerados como contribuindo para reduzir a passagem de radão para os pisos superiores.

2.3.5 Zonas de comunicação interiores entre espaços

As escadas de acesso de uma cave não habitável com pavimento térreo ao piso superior devem dispor de portas com baixa permeabilidade ao ar, de modo a criar uma barreira à passagem de radão.

Estas portas, para além de reduzirem as trocas de calor entre os espaços que separam, permitem intensificar a ventilação da cave sem afetar o conforto no resto do edifício, desde que seja assegurado o isolamento térmico do pavimento entre a cave e os compartimentos sobrejacentes.

Em Portugal a permeabilidade das portas deve ser inferior a $10 \text{ m}^3/\text{h}$, sob uma diferença de pressão de ensaio de 100 Pa (IPQ, 2015).

Em edifícios em altura, a comunicação entre espaços (de habitação ou de outro tipo de utilização) de piso para piso faz-se geralmente através de uma caixa de escada interior com uma caixa de elevadores. A estanquidade ao ar das portas de comunicação entre pisos é suficientemente garantida adotando as disposições relativas à segurança contra incêndio, uma vez que também constituem um contributo importante para evitar especialmente a passagem do radão das caves ou de pisos térreos desses edifícios para os pisos superiores, a qual será já de si reduzida se as paredes e os pavimentos dessas caves ou desse piso térreo forem formados por elementos de betão armado.

3 | Metodologia de prevenção

3.1 Estudo prévio

Antes da realização do projeto de execução de um edifício, no que diz respeito às soluções construtivas ou instalações a adotar para prevenir a passagem do radão para o seu interior, deve ser realizado um estudo prévio, com vista a avaliar o local de implantação do edifício e da área circundante, do ponto de vista dos riscos que possam advir para a saúde das pessoas, da exalação do radão do terreno, das águas freáticas ou em superfície livre, ou de edifícios existentes nas áreas envolventes. Para essa avaliação, pode ser necessário realizar estudos geológicos ou geotécnicos, nomeadamente através de sondagens no terreno até pelo menos à cota previsível de fundações diretas (sapatas isoladas ou contínuas, ou ensoleiramentos gerais) ou de encabeçamentos de fundações indiretas (estacas).

É sempre aconselhável realizar medições de exalação ao radão no solo onde se vai implementar o edifício, utilizando sondas apropriadas.

Todos os resultados dessa avaliação devem ser naturalmente registados (Gwynne, 2013), para serem tidos em conta no desenvolvimento do projeto de execução.

Sabe-se que os locais de maior risco são os terrenos localizados em zonas mineiras ou em zonas rochosas graníticas, ou terrenos contendo materiais em que a exposição a radiações ionizantes não é desprezável.

Embora fora do contexto deste guia, pode aproveitar-se o levantamento objeto desse estudo prévio, para identificar outros contaminantes no solo (e.g., óleos, solventes ou combustíveis de gasolina) ou gases perigosos que nele se verificam naturalmente (e.g., metano, dióxido de carbono, sulfureto de hidrogénio). Nestes casos, torna-se necessário, em geral realizar projetos especiais para as fundações (Gwynne, 2013).

3.2 Projeto e execução

Compete ao projetista do edifício a construir, prever, em função da zona de localização, a instalação de um sistema de prevenção anti radão adequado, incluindo pelo menos, quando tal se justifique, a colocação de uma membrana de material que funcione como barreira à passagem de radão do terreno para o interior do edifício (proteção básica ao radão).

As medidas de prevenção anti radão a implementar em edifícios novos dependem do nível de concentração de radão, o que numa avaliação prévia pode ser estimado com base no mapa de risco de Portugal continental, considerando a zona de localização do edifício a construir.

Em áreas com baixo potencial de radão podem-se adotar os métodos de construção normais, desde que sejam previstos sistemas de ventilação no interior dos edifícios, não sendo por isso necessária a adoção de medidas específicas de proteção ao radão.

Como é sabido, os projetos de execução dos edifícios são constituídos por peças escritas e desenhadas, com as informações técnicas necessárias e suficientes para análise por todos os intervenientes no processo construtivo, nomeadamente os donos-de-obra, a fiscalização e a empresa construtora. Assim, em função do tipo de solução a usar contra a entrada do gás radão nos edifícios, as peças escritas devem descrever detalhadamente essas soluções, indicando as respetivas características e técnicas de aplicação, e as peças desenhadas (um dos principais elementos do projeto a estar presente no estaleiro da obra), devem apresentar essas soluções com os detalhes, a escala conveniente, não só da solução em zona corrente como dos seus principais remates em zonas singulares do edifício; entre outros, deve ser apresentado o traçado completo das rede de tubagens dos sistemas de prevenção ao radão, as suas secções, as dimensões de câmaras específicas a instalar nesses sistemas, a localização de ventiladores ou de outros equipamentos dos sistemas anti radão.

Tal como em relação a todos os projetos de especialidade, competirá naturalmente ao organismo licenciador da construção, verificar o cumprimento da regulamentação específica que venha a existir sobre esta matéria, especialmente quando prevejam riscos elevados de ser ultrapassado o valor de referência no interior do edifício, nomeadamente devido à presença de níveis elevados de radão no solo onde o edifício será implantado.

Durante a construção, a empresa construtora deverá executar a instalação desses sistemas de proteção de admissão de radão de acordo com o projeto, propondo ao projetista soluções alternativas, face, nomeadamente, a constrangimentos de obra não previstos no projeto. Igualmente, como deve acontecer para qualquer tipo de obra, a fiscalização deve estar particularmente atenta à aplicação das soluções previstas em projeto, especialmente daquelas que sejam mais sensíveis a serem afetadas pelas condições existentes na obra ou por trabalhos posteriores (como é o caso das membranas anti radão, que mais adiante se fará referência, muito sensíveis a ações mecânicas pontuais que podem causar a sua perfuração).

3.3 Precauções adicionais

Se o edifício a construir estiver localizado em zonas sensíveis do ponto de vista ambiental, como na proximidade de aterros sanitários ou em zonas de minas de carvão desativadas, podem ser necessárias precauções adicionais para além das exigidas para o gás radão.

Nestes casos, os métodos de proteção a adotar dependem do tipo de gases existentes, da fonte e do volume de gás ou respetiva taxa de emissão. As medidas de proteção normalmente usadas incluem a construção de barreiras estanques no solo, de sistemas de alarme de gás, de membranas pouco permeáveis a esses gases e sistemas de ventilação passiva ou ativa colocada sob o edifício (Gwynne, 2013).

Quando os gases metano e radão estão simultaneamente presentes, as medidas de proteção adicionais resultam da presença do gás metano (Gwynne, 2013).

No caso de o solo se apresentar contaminado com outro tipo de materiais, o solo escavado deve ser resguardado temporariamente com telas plásticas, incluindo-se a instalação de sinais de aviso (WSSC, 2019).

Todo o solo escavado deve ser caracterizado para avaliar a opção adequada ao seu destino (reutilização ou deposição noutra local). Se os terrenos escavados forem levados para local não acessível a pessoas e animais, estes podem não ser cobertos, para facilitar que o radão se dissipe na atmosfera.

Após a escavação, os materiais de regularização do terreno ou das camadas de drenagem, como os enrocamentos, não devem ter fundo radioativo elevado, recomendando-se assim o uso de materiais de natureza calcária, basáltica ou de argila expandida, e, quando aplicável, a colocação de painéis de isolamento térmico de poliestireno expandido extrudido (XPS) ou similares.

Devem ainda ser tomadas precauções adicionais quando são usadas membranas prefabricadas como barreiras ao radão, dada a fragilidade que essas membranas apresentam, quer na sua superfície corrente quer nas juntas de sobreposição quando deficientemente ligadas. Essas precauções traduzem-se, em superfície corrente, na criação de uma superfície de apoio suficientemente regular, sem saliências significativas, e na proteção superior da membrana a ações mecânicas. As precauções a tomar nas juntas de sobreposição estão fundamentalmente relacionadas com a sua execução; esta depende naturalmente do tipo de membrana. De qualquer modo, sempre que possível, seria conveniente realizar um teste no local, após a realização dessas juntas de sobreposição, que evidenciasse a sua adequada execução, de forma a garantir a vedação ao gás radão da membrana nessas zonas singulares.

4 | Medidas de prevenção

4.1 Considerações gerais

Existe um conjunto de soluções que isoladamente ou combinadas permitem minimizar a concentração de radão nos edifícios. Se o projeto e a construção do edifício seguirem de perto as recomendações apresentadas neste guia, não será, em princípio, necessário aplicar medidas adicionais após a construção.

As opções conhecidas e aplicadas com mais generalidade visando a prevenção da presença do gás radão em edifícios novos, são as seguintes:

- Vedação com geomembranas ou membranas de impermeabilização sobre o terreno;
- Instalação de um sistema de despressurização do terreno abaixo do pavimento térreo, com realização de câmara(s) de aspiração por baixo desse pavimento.

Em alguns casos é conveniente adotar ambas estas medidas para evitar ou reduzir a transmissão do radão para o interior do edifício, mas, mesmo que isso não seja estritamente necessário, é conveniente instalar um sistema de despressurização ou de ventilação que possa ser futuramente ativado, se houver necessidade disso. As medidas acima referidas podem ainda ser convenientemente complementadas com sistemas de ventilação natural.

Em caso de ser necessário recorrer a métodos de mitigação adicionais após a construção, recomenda-se a consulta do guia relativo às técnicas de mitigação de admissão de radão em edifícios existentes (Real, Lopes, Viegas; 2020).

4.2 Vedação com aplicação de membranas prefabricadas

4.2.1 Generalidades

Os pavimentos de betão construídos sobre o terreno, situação correntemente utilizada em edifícios novos, conferem apenas uma proteção básica ao radão, devendo por isso ser conveniente complementada essa proteção com barreiras contra o radão, de modo a garantir uma maior eficácia contra a sua migração do terreno para o edifício (Figura 4.1. e Figura 4.2).

Conforme se referiu, as membranas contra o radão também reforçam a proteção contra a humidade. As membranas ou filmes utilizados como barreira à humidade, nomeadamente à humidade ascendente do terreno, como por exemplo os filmes de PE não reciclado com 300 µm de espessura, também se têm mostrado adequados para a estanquidade ao gás radão (Gwynne, 2013; BBA, 2017). Outras soluções encontradas na bibliografia têm também estas funções, como é o caso de membranas compósitas de folhas de polietileno de baixa densidade e folhas de alumínio (Necoflex, 2014), ou desta mesma natureza, mas menos eficientes, sem folha de alumínio (Nasai, 2009). Na família dos

betuminosos encontram-se também referências com este campo de aplicação (Danosa, 2021; Vetroasfalto, s/d), bem como na família das membranas sintéticas de TPO (Juta, 2020).

Assim, a aplicação sobre o terreno convenientemente regularizado de uma membrana impermeável ao radão, quando devidamente aplicada, é essencial para conferir proteção básica a este gás, podendo ser complementada com um sistema de despressurização passivo (que posteriormente se pode converter em ativo, se necessário), para garantir uma proteção mais eficaz ao radão.



Figura 4.1 – Exemplo típico do aspeto de uma membrana contra o radão



Figura 4.2 – Imagem da instalação de uma membrana de proteção ao radão num edifício em construção

Atendendo à eficácia que pode ter este tipo de solução na criação de uma barreira à passagem do radão para o interior dos edifícios através dos pavimentos térreos, as características dos materiais empregues e as respetivas técnicas de aplicação são desenvolvidas com detalhe nas secções seguintes.

4.2.2 Detalhes construtivos na aplicação de membranas prefabricadas

4.2.2.1 Tipo de construção

Naturalmente que quanto mais simples for a geometria do piso térreo do edifício, mais fácil se torna a instalação da membrana cobrindo toda a sua área de implantação. Por isso, quando esse piso tem de ser construído a cotas distintas, a membrana deverá também revestir os muros de suporte a executar entre os respetivos patamares do piso térreo, deixando, portanto, de ser aplicada de forma contínua. Esta situação geralmente ocorre quando o edifício é construído em terreno inclinado (Figura 4.3). Embora existam recomendações de alguns autores para evitar este tipo de construção em socacos (Scivyer, 2015b), não se propõe evidentemente que, apenas para tornar mais fácil as condições de aplicação de soluções construtivas que minimizem a passagem do radão para o interior de edifícios, seja alterada a topografia do local, pois tal acarreta, em geral, custos desproporcionados.



Figura 4.3 – Detalhe de uma membrana instalada numa fundação em cotas diferentes²

² © IHS Markit, reproduzido com permissão de “Good Building Guide - Radon protection for new dwellings (GG 74)”

Faz-se notar a importância de garantir que qualquer sistema de barreira ao radão formado por membranas prefabricadas seja incorporado na obra de forma a não criar planos de deslizamento do terreno ou da própria construção, motivados por insuficiente atrito entre os materiais em presença. Igualmente, deve ser garantida a adequada transmissão de esforços entre os elementos construtivos do edifício que venham a ser interrompidos, total ou parcialmente, por estas membranas.

4.2.2.2 *Tipo de pavimentos*

Nos edifícios novos o pavimento térreo é geralmente formado por uma laje de betão armado assente diretamente no terreno ou criando uma caixa de ar entre ele e o terreno. Correntemente pouco se recorre à utilização de pavimentos com base em madeira, sendo que nestes casos a caixa de ar referida deve sempre existir.

No caso do pavimento de betão armado assente sobre o terreno, ou sobre as camadas correntemente utilizadas na execução deste tipo de solução, a laje respetiva deve preferivelmente ser apoiada em lintéis de fundação ou em vigas devidamente dimensionadas para suportar as cargas transmitidas por esse pavimento; ou seja, deve evitar-se o assentamento direto do pavimento no terreno, dessolidarizado da estrutura resistente do edifício, pois tal pode conduzir à rotura da membrana subjacente por efeito de assentamentos diferenciais, mesmo que ligeiros, geralmente verificada na sua ligação com os elementos emergentes do pavimento. Este tipo de ligação do pavimento de betão armado à estrutura resistente (vigas ou lintéis) é sempre realizado, quando a laje é sobreelevada do terreno, formando a referida caixa de ar.

4.2.2.3 *Atravessamento de paredes*

Para evitar fugas marginais de radão, é importante assegurar que a membrana anti radão seja aplicada sem descontinuidades em toda a superfície de implantação do edifício, incluindo, sempre que possível, o atravessamento de paredes divisórias e de fachada, e vedando quaisquer aberturas existentes, nomeadamente as resultantes de atravessamentos da laje do pavimento térreo ou dos elementos resistentes de suporte (Gwynne, 2013); esta situação ocorrerá quando a membrana é aplicada sobre a laje do pavimento térreo, e não sob este.

Em complemento, de resto a situação que se julga mais corrente nos edifícios a construir, deve ser feita a vedação das juntas entre o pavimento e as paredes que sobre ele se apoiam, utilizando bandas da mesma membrana da zona corrente do pavimento, ou bandas de remate, com material compatível com o da membrana do pavimento, ligadas a esta por soldadura ou colagem; uma sobreposição entre estas bandas e a membrana de cerca de 30 a 60 cm é suficiente (Scivyer, 2015b).

Na Figura 4.4 apresenta-se a imagem de uma membrana instalada em obra, sendo visível a banda de remate na zona de união entre o pavimento e a parede.

4.2.2.4 Atravessamento por condutas ou pilares

Sempre que possível, deve evitar-se o atravessamento das membranas por tubagens; mas quando tal não for possível, deve realizar-se uma boa selagem em torno da zona de atravessamento (Figura 4.5), de forma a garantir-se a sua estanquidade ao gás radão. O mesmo tipo de solução deve ser adotado no contorno de pilares ou colunas metálicas (Figura 4.6) ou de betão.



Figura 4.4 – Ilustração do remate de vedação entre a membrana do pavimento e uma parede

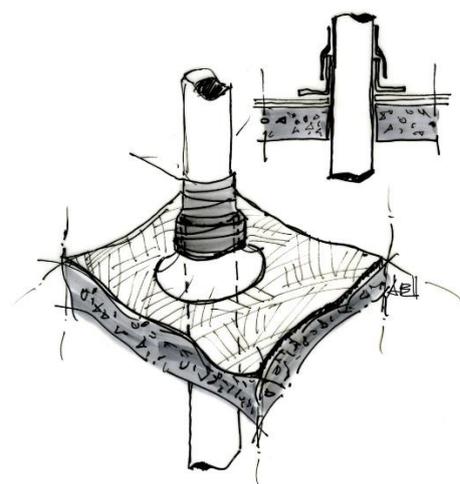


Figura 4.5 – Ilustração de pormenor do reforço da membrana na zona de atravessamento da conduta de um sistema de despressurização instalado abaixo do pavimento



Figura 4.6 – Pormenor do reforço da membrana na zona de atravessamento de um pilar metálico

4.2.2.5 *Proteção da membrana*

Não só é importante aplicar as barreiras anti radão com os cuidados devidos, como, após a sua instalação, esta não deve ser danificada pelos trabalhos realizados a seguir. Para reduzir o risco de danificação acidental, todos os operários devem estar cientes do objetivo da membrana e da sua fragilidade a ações mecânicas, especialmente as resultantes de ações perfurantes. Para reduzir o risco de danificar a membrana, ela deve ficar exposta o menor período de tempo possível, devendo a programação da obra ter isso em conta.

Previamente à aplicação de uma betonilha de assentamento do revestimento de piso ou de uma camada de betão, deve ser colocada uma manta de geotêxtil de gramagem elevada, como camada de proteção da membrana à ação da queda do respetivo material sobre a mesma (Figura 4.7).

Caso esteja prevista a aplicação no pavimento térreo de painéis de isolamento térmico diretamente sobre a membrana, eles devem ser colocados logo após a sua aplicação, ou, preferivelmente, à medida que esta vá sendo aplicada. É claro que a ocorrência de alguma anomalia verificada na membrana, que coloque em risco a estanquidade ao radão, deve ser imediatamente reparada antes de se prosseguir com os trabalhos (Scivyer, 2015b).



a)

b)

Figura 4.7 – Membrana sobre um pavimento e respetivos remates com as paredes e tubagens: a) membrana anti radão; b) manta geotêxtil de proteção da membrana ilustrada em (a)

4.2.3 Especificação das membranas

4.2.3.1 Generalidades

A especificação e as características das membranas utilizadas como barreira à humidade, que podem também ser usadas como barreiras à passagem do radão para o interior dos edifícios, são objeto das normas NP EN 13969 (IPQ, 2008) e EN 13967 (CEN, 2017).

Embora em alguns países europeus, e mesmo fora do continente europeu, as membranas habitualmente usadas sejam em material plástico (por exemplo, polietileno virgem, não reciclado), em Portugal, dado ser reduzida a cota de mercado deste tipo de membranas (segundo informações recolhidas no meio técnico e empresarial), presume-se que possam ser mais usadas as membranas betuminosas.

O desempenho destas membranas à passagem do radão melhora se estas dispuserem de uma folha metálica, geralmente de alumínio. Tal é possível incorporar no caso das membranas betuminosas, quer como armadura quer como acabamento da superfície exterior. Melhora-se igualmente essa característica se forem usadas membranas plásticas do tipo multicamada (por exemplo, até 6 camadas sobrepostas), com pelo menos uma camada em folha de alumínio e uma camada de reforço em rede de fibras, usualmente de poliéster.

Existem ainda soluções alternativas com base em produtos líquidos ou pastosos, de naturezas químicas diversas (sintéticos ou betuminosos) (Scivyer, 2015b).

De uma forma geral, as características mais importantes das membranas são, naturalmente, em primeiro lugar, o coeficiente de difusão ao radão (geralmente expresso em $a \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$), determinado de acordo com a ISO/TS 11665-13 (ISO, 2017), ou a transmitância ao radão (correntemente expressa em $b \times 10^{-9} \text{ m/s}$) ou ainda a resistência ao radão (expressa em $c \times 10^7 \text{ s/m}$), as propriedades de

transmissão de vapor de água, as propriedades em tração (tensão, ou força máxima, e alongamento na rotura), as resistências ao punçoamento estático ou dinâmico (impacto ou choque), e, por fim, a eventual libertação de compostos orgânicos voláteis (VOC's).

A título de exemplo registam-se os seguintes valores do coeficiente de difusão ao radão encontrados na bibliografia: $2,4 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (Danosa, 2021), $5,8 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (Visqueen, 2018) e $16,0 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (BBA, 2017). Estudos experimentais realizados pela Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Técnica da República Checa e pelo *National Radiation Protection Institute* do mesmo país, sobre uma amostra de 126 materiais distintos, mostram que este parâmetro pode variar entre 10^{-15} e $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ (Jiránek, s/d). Um outro estudo realizado anteriormente em 2000 pelo mesmo autor (Jiránek; Hůlka, 2000) sobre 80 membranas mostra igualmente uma variação do coeficiente de difusão do radão entre 10^{-13} e $10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.

Para um mesmo tipo de membrana ou filmes (com a mesma constituição química e composição das camadas), as propriedades mecânicas e de estanquidade melhoram com o aumento da espessura (no caso dos filmes a espessura varia normalmente entre 300 e 800 μm), e a capacidade de difusão da membrana pelo radão diminui. De qualquer modo, os menores coeficientes de difusão correspondem, como seria de esperar, a membranas que integram na sua constituição folhas metálicas (em geral de alumínio) ou películas de plástico. A esta conclusão, chegaram também, os autores dos estudos referidos atrás, sendo as membranas betuminosas (as mais correntes em Portugal) dispoendo de uma folha metálica as que apresentaram melhores resultados para o coeficiente de difusão.

O referido estudo (Jiránek, s/d) mostra também que o uso de materiais reciclados no fabrico de membranas de poli(cloreto) de vinilo plastificado (situação corrente na generalidade das atuais instalações fabris deste tipo de membranas) aumenta o coeficiente de difusão ao radão em média cerca de 3 vezes o obtido com membranas sem materiais reciclados.

Seria útil dispor de informação alargada sobre os resultados do ensaio do coeficiente de difusão das membranas mais usadas em Portugal, ou que venham a sê-lo, de modo a futuramente se poderem estabelecer critérios para o seu uso em função, por exemplo, da sua eficácia para a redução dos níveis de radão no interior dos edifícios. Entretanto, poder-se-ão considerar como satisfatórias as soluções de selagem formadas por membranas contra o radão aquelas cujos coeficientes de difusão estejam compreendidos entre 5×10^{-12} e $10 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ (Jiránek; Hůlka, 2000). Tal corresponde a utilizarem-se membranas betuminosas com cerca de 3 a 4 mm de espessura e membranas de poli(cloreto) de vinilo plastificado (PVC) com 1 ou 2 mm de espessura; as membranas com estas características geométricas são exatamente aquelas mais vulgares em Portugal para outros campos de aplicação. As membranas betuminosas incorporando as referidas folhas metálicas de alumínio satisfazem evidentemente aquela exigência; note-se, no entanto, que são muito reduzidas as capacidades resistente e de deformação deste tipo de membranas, devendo, portanto, terem-se cuidados acrescidos aquando da sua aplicação em obra.

Sob este ponto de vista, o de aplicação em obra, convém referir que embora os produtos mais espessos possam ser mais resistentes, eles podem ser mais difíceis de ajustar a zonas angulosas ou arredondadas com pequenos raios de curvatura, pelo que nesses locais é aconselhável usar

componentes pré-formados ou selantes pastosos compatíveis com as membranas da zona corrente. Em alternativa, também se pode recorrer a membranas prefabricadas mais espessas, para instalar na zona corrente, e usar materiais mais fáceis de ajustar ou produtos pastosos, nos remates com as paredes periféricas e com outros pontos singulares (Scivyeer, 2015b).

Embora as membranas possam ser aplicadas em sistemas de dupla ou mesmo tripla camada, para aplicações mais exigentes, algumas delas são suficientemente resistentes para, por si só, suportar tráfego pedonal (ligeiro, moderado ou intenso, conforme a especificação) ou mesmo de maquinaria ligeira. Quando sobre as membranas deva ser aplicada uma camada de proteção formada pelas próprias lajes de betão armado do pavimento, o sistema formado por essas membranas deve ser suficientemente resistente para as ações a que está sujeito, tanto mais que os trabalhos de reparação que necessitem posteriormente de ser efetuados têm sempre custos significativos.

Existem ainda bandas ou perfis de membranas especificamente adequados para a selagem de elementos construtivos com zonas angulosas ou de geometria difícil de contornar.

4.2.3.2 *Tipos de membranas e filmes*

Conforme se referiu, a generalidade das membranas que podem ser usadas com as funções de restringir a passagem do radão para o interior do edifício é também utilizada para outros fins.

Os principais tipos de membranas existentes no mercado que podem desempenhar a função pretendida, são os seguintes: membranas betuminosas e membranas sintéticas. Nas primeiras podem incluir-se as membranas tradicionais de betume oxidado e as membranas de betume-polímero de polipropileno atático (APP) ou de estireno-butadieno-estireno (SBS). Nas segundas incluem-se as membranas de PVC e as com base em borracha, como as de monómeros de etileno-propileno-dieno (EPDM). Existem outros tipos de membranas, mas estas serão as mais utilizadas em Portugal.

Na falta de especificações técnicas europeias que lhes sejam diretamente aplicáveis, recomenda-se que sejam seguidas as normas europeias (ou correspondente norma portuguesa) relativas a cada um daqueles tipos de membranas: para as betuminosas, a norma NP EN 13707, e para as membranas de PVC ou de EPDM, a norma EN 13956 (em ambos os casos aplicáveis a revestimentos de coberturas).

Como barreira contra o radão pode ainda utilizar-se uma solução, em princípio mais económica, com base em folhas de plástico de polietileno ou de polipropileno.

Para todas estas soluções, que a seguir serão mais detalhadas, deve ser avaliada a sua eficácia ao gás radão, preferencialmente através de ensaios específicos para tal.

a) Membranas betuminosas

Existem basicamente dois tipos de membranas betuminosas, aquelas, cuja mistura é formada por betume oxidado e as que nas misturas betuminosas são incorporadas, em quantidades significativas, resinas de APP ou de estireno-butadieno-estireno (SBS). Em qualquer delas a largura costuma ser de 1,0 m, a espessura pode variar entre cerca de 2 mm a 5 mm e a massa superficial entre cerca de 2 kg/m² e 5 kg/m²; os comprimentos variam com a espessura ou a massa, desde 8 m até 12 ou 15 m. Se

as membranas forem aplicadas em sistemas de camada única, recomenda-se que a sua espessura ou massa não sejam inferiores a 4 mm ou a 4 kg/m², respetivamente.

Em geral, estas membranas são armadas, sendo as principais armaduras os feltros ou telas de fibras de vidro e os feltros de poliéster. Menos frequentes são as armaduras de plástico e de alumínio ou cobre. Para evitar roturas das membranas durante o manuseamento, recomenda-se que sejam utilizadas armaduras que conduzam a uma resistência ao rasgamento das respetivas membranas de pelo menos 50 N ou 150 N (de acordo com a técnica de ensaio prevista na NP EN 12310-1), consoante os sistemas sejam constituídos por duas membranas coladas entre si, ou por uma só membrana.

O acabamento deste tipo de membranas pode ser apenas uma muito ligeira película de plástico (para evitar a aderência entre as faces da membrana durante o seu enrolamento na fábrica), granulado mineral diverso ou folhas de alumínio ou cobre (as designadas membranas auto protegidas). Do ponto de vista da permeabilidade ao radão, as membranas mais eficientes são naturalmente aquelas que dispõem de armaduras metálicas (alumínio ou cobre), ou com acabamento dos mesmos materiais.

b) Membranas de PVC

As membranas de PVC plastificado são constituídas pela resina de poli(cloreto) de vinilo, plastificantes, estabilizantes e cargas, podendo ser armadas ou não. A sua espessura nas soluções usuais pode variar entre 1,0 mm e 2,0 mm, sendo a mais corrente a de 1,2 mm. A largura do rolo é em geral superior a 1,0 m, podendo fabricar-se com larguras significativas para cobrir a maior área possível do pavimento, ou parede a revestir.

Quando armadas, as armaduras mais utilizadas são as redes de fibra de vidro ou os feltros de poliéster. Tal como para as membranas betuminosas, e pelas mesmas razões apresentadas, recomenda-se que a resistência ao rasgamento seja superior a 150 N (de acordo com o preconizado na norma NP EN 12310-1).

As membranas de PVC são sempre aplicadas em sistemas de camada única.

c) Membranas com base em borracha

As membranas deste tipo mais utilizadas em Portugal são as de EPDM, tendo no passado sido corrente usarem-se as de borracha butílica. Em geral, estas membranas não são armadas e a sua espessura pode também variar entre 1,0 e 2,0 mm. Tal como nas membranas de PVC, a largura dos rolos poderá também ser francamente superior a 1,0 m.

Os sistemas formados por estas membranas são também sempre de camada única, ou seja, são sempre formados por uma única membrana.

d) Filmes de plástico

Conforme se referiu, os filmes de plástico mais usuais são os de polietileno ou de polipropileno. As suas espessuras e massa superficial não devem ser inferiores a 300 µm e a 270 g/m², respetivamente

(Visqueen, 2018). Devido à sua reduzida resistência mecânica, sugere-se que sejam sempre utilizados dois filmes sobrepostos, em vez de apenas um. A largura de qualquer destes filmes é geralmente muito superior a 1 m, sendo o comprimento geralmente superior a 20 m.

4.2.4 Técnicas de aplicação das membranas

4.2.4.1 *Generalidades*

Qualquer que seja o tipo de membrana, a sua aplicação em pavimentos pode ser feita em sistemas utilizando fundamentalmente uma das seguintes três técnicas: sistemas aderentes, sistemas independentes (ou soltos) e sistemas fixados mecanicamente. A técnica mais apropriada e também a mais económica é a primeira, sendo também esta a que deve ser usada quando se apliquem filmes de plástico.

Qualquer que seja a técnica utilizada, o suporte sobre o qual é aplicada a membrana ou o filme deve estar seco, isento de poeiras e suficientemente regular, especialmente sem saliências significativas que possam perfurar a membrana ou o filme após a sua colocação.

4.2.4.2 *Membranas betuminosas*

a) Colocação dos rolos

Os rolos devem ser desenrolados sem ficarem sujeitos a tensões e alinhados diretamente sobre o suporte (podendo este ser diretamente o revestimento do pavimento existente) de modo a sobreporem-se longitudinal e transversalmente, ao longo dos bordos respetivos, numa faixa correspondente à largura da junta de sobreposição. Essa largura não deve ser inferior a 0,10 m, correspondendo este valor à faixa efetivamente colada entre as duas membranas.

b) Ligação das membranas entre si e ao suporte

A ligação entre membranas faz-se ao longo das juntas de sobreposição referidas em atrás, em toda a sua largura, e preferivelmente por soldadura por meio de chama; podem ainda utilizar-se colas betuminosas apropriadas para tal.

A soldadura deve ser feita de forma que reflua pelo bordo das juntas de sobreposição longitudinais ou transversais uma pequena quantidade de betume fundido resultante do seu aquecimento.

Quando o sistema é formado por duas membranas, as juntas da camada superior do sistema devem ficar desencontradas em relação às juntas da camada inferior, ou então as duas camadas devem ser aplicadas de forma cruzada. Neste tipo de sistema, geralmente menos utilizado, a ligação entre as duas membranas é também realizada preferencialmente por soldadura por meio de chama, ou ainda utilizando colas betuminosas apropriadas.

O bordo da membrana colocada pelo lado superior das juntas deve ser biselado com a ponta de uma colher de pedreiro ou uma espátula metálica aquecida.

A ligação das membranas ao suporte, no caso dos sistemas aderentes, é também feita preferencialmente por soldadura por meio de chama, embora se possam igualmente utilizar colas betuminosas apropriadas.

Embora se possam aplicar sobre os pavimentos sistemas fixados mecanicamente, não se justifica economicamente esta solução.

4.2.4.3 Membranas de PVC

a) Colocação dos rolos

Com este tipo de membrana a solução recomendada consiste no uso de um sistema independente do suporte, formado apenas por uma membrana. A membrana deve ser aplicada sobre suportes secos, limpos e isentos de asperezas e ressaltos.

Os rolos devem ser desenrolados sem ficarem sujeitos a tensões e alinhados sobre o suporte de modo a sobrepor-se longitudinal e transversalmente, ao longo dos bordos respetivos, numa extensão correspondente à largura da junta de sobreposição. Esta largura não deve ser inferior a 100 mm e 50 mm, respetivamente nos casos das juntas de sobreposição longitudinais e transversais.

b) Ligação das membranas entre si e ao suporte

A ligação entre membranas faz-se ao longo das juntas de sobreposição referidas atrás. Essa ligação é realizada preferivelmente por soldadura por ação de ar quente, utilizando equipamento manual ou automático. Em qualquer dos casos, a ligação é garantida pela pressão adequada exercida sobre a faixa da junta de sobreposição soldada. A qualidade da soldadura pode ser controlada através da pressão exercida, ao longo do bordo da junta, por uma ponteira metálica de ponta romba, ou pela aresta de uma colheira de pedreiro.

A largura mínima de soldadura das juntas de sobreposição é de 20 mm ou de 30 mm, contados a partir do bordo da membrana superior, respetivamente nos casos da respetiva ligação ser efetuada com equipamento automático apropriado ou manualmente.

Na execução dessa ligação, especialmente quando a mesma é feita manualmente, recomenda-se que o bordo aparente da junta de sobreposição seja biselado, de modo a proteger o bordo da armadura através do material resultante do refluimento do PVC fundido por ação do ar quente. Este procedimento minimiza a eventual possibilidade de infiltração de água por capilaridade através das juntas de sobreposição.

As soldaduras devem ser interrompidas quando a temperatura do ar é inferior a 0 °C.

A ligação das juntas de sobreposição pode ainda ser feita com colas de contacto específicas para tal. Recomenda-se, no entanto, a utilização da primeira técnica, especialmente quando a temperatura ambiente é baixa ou a qualidade da preparação das superfícies das juntas a ligar não seja feita com os devidos cuidados.

Embora se possam também utilizar sobre os pavimentos sistemas fixados mecanicamente, a respetiva solução não se justifica economicamente.

4.2.4.4 *Membranas de EPDM*

a) Colocação dos rolos

Com este tipo de membrana a solução recomendada consiste também no uso de um sistema independente do suporte formado apenas por uma membrana.

A membrana deve ser aplicada sobre suportes secos, limpos e isentos de asperezas e ressaltos.

Os rolos devem ser desenrolados sem ficarem sujeitos a tensões e alinhados sobre o suporte de modo a sobrepor-se longitudinal e transversalmente, ao longo dos bordos respetivos, numa extensão correspondente à largura da junta de sobreposição. Esta largura não deve ser inferior a 100 mm.

b) Ligação das membranas entre si e ao suporte

A ligação entre membranas faz-se ao longo das juntas de sobreposição referidas atrás. Essa ligação pode ser realizada utilizando bandas vulcanizadas autoadesivas em ambas as faces, que são colocadas sobre o bordo da membrana inferior, sendo em seguida aderido sobre a superfície superior dessa banda o bordo da membrana superior. A ligação é garantida pela pressão adequada exercida sobre a faixa da junta de sobreposição.

A ligação das membranas entre si deve ser interrompida quando a temperatura do ar for inferior a 0 °C.

A ligação das juntas de sobreposição pode ainda ser feita com colas de contacto específicas para tal. Recomenda-se, no entanto, a utilização da primeira técnica, especialmente quando a temperatura ambiente é baixa ou a qualidade da preparação das superfícies das juntas a ligar não seja feita com os devidos cuidados.

Embora se possam também utilizar sobre os pavimentos sistemas fixados mecanicamente, a respetiva solução não se justifica economicamente.

4.2.4.5 *Filmes de plástico*

a) Colocação dos rolos

Com este tipo de filmes a solução recomendada consiste também no uso de um sistema independente do suporte formado por dois filmes colocados um sobre o outro.

Os filmes devem ser aplicados sobre suportes secos, limpos e isentos de asperezas e ressaltos.

Os rolos devem ser desenrolados sem ficarem sujeitos a tensões e alinhados sobre o suporte de modo a sobrepor-se longitudinal e transversalmente, ao longo dos bordos respetivos, numa extensão correspondente à largura da junta de sobreposição. Esta largura não deve ser inferior 100 mm.

b) Ligação dos filmes entre si

A ligação entre os filmes faz-se ao longo das juntas de sobreposição referidas atrás. Essa ligação pode ser realizada utilizando produtos vedantes específicos, sendo a ligação garantida pela pressão adequada exercida na junta sobre esses produtos.

Em alternativa os filmes podem ser simplesmente sobrepostos nas juntas de sobreposição sem qualquer ligação entre si. Neste caso recomenda-se aumentar a largura da junta para 150 mm.

4.3 Despressurização do terreno

4.3.1 Generalidades

Estes sistemas, que consistem na instalação de uma câmara subterrânea simples ou de múltiplas câmaras (às quais se ligam os vários tubos do sistema de aspiração e exaustão), visam aspirar o ar carregado de radão existente no terreno, imediatamente por baixo do pavimento térreo de um edifício, descarregando-o de forma inócua na atmosfera.

Esta solução, associada à colocação de uma membrana anti radão, é considerada como a mais eficaz para remover o radão do terreno e impedir que este exale para os espaços utilizáveis.

Este tipo de sistemas é adequado para edifícios com níveis de radão até 2.000 Bq/m³, ou superiores, desde que os pavimentos sejam de boa qualidade e pouco permeáveis (Scivyer e Jaggs, 1998). Para que o sistema de despressurização subterrânea funcione efetivamente, será necessário usar um material de enchimento permeável sob a laje (Scivyer e Jaggs, 1998), funcionando como tal os enrocamentos geralmente utilizados nas fundações dessas lajes.

Estes sistemas têm a vantagem de não alterar as condições ambientais das caves ou pisos térreos, ou mesmo dos pisos superiores do edifício, mas requer cuidados especiais se, no interior de caves, estiver prevista a utilização de uma caldeira, ou um aparelho de combustão do tipo B³.

4.3.2 Breve descrição dos sistemas

Existem dois tipos de sistemas de exaustão do radão, o sistema passivo e o sistema ativo. O sistema de exaustão passivo sob o pavimento tem um funcionamento semelhante ao sistema de aspiração ativo, com exceção da exaustão recorrer à ventilação natural para extrair o radão debaixo do pavimento térreo, em vez de se recorrer a um ventilador mecânico. Porém, a exaustão passiva em caves, apenas é usada com sucesso para níveis de radão até 700 Bq/m³, enquanto a exaustão ativa sob o pavimento pode ser usada com sucesso até 850 Bq/m³ (Scivyer e Jaggs, 1998).

Podem construir-se minissistemas de despressurização subterrânea escavando no terreno uma câmara à qual se ligará uma ou mais tubagens de exaustão, em geral de PVC-U (normalmente com cerca de 110 mm de diâmetro); essas tubagens poderão atravessar o pavimento térreo, vedando-se convenientemente as respetivas juntas (Figura 4.8). Liga-se então um ventilador a esses tubos de

³: Aparelho do Tipo B é um o aparelho a gás concebido para funcionar ligado a uma conduta de evacuação dos produtos da combustão para o exterior do local onde o aparelho está instalado sendo o ar necessário para a combustão captado diretamente no local, tal como definido no mencionado relatório técnico DNP CEN/TR 1749 [Decreto-Lei n.º 97/2017], entretanto anulado e substituído pela norma EN 1749:2020.

exaustão, o qual pode ficar no interior da edificação (em espaços normalmente desocupados) ou no exterior, resguardado ou não; o objetivo deste ventilador é naturalmente despressurizar o terreno (pressão inferior à atmosférica). Quando o ventilador for instalado em espaços no interior da edificação, este e todas as condutas a jusante devem ser instalados em espaços bem ventilados para o exterior e isolados relativamente aos espaços ocupados, para se evitar que as fugas, devidas à permeabilidade das juntas entre componentes das condutas, venham a originar a contaminação de espaços ocupados com radão. Este minissistema de despressurização pode ser adaptado para se adequar à maioria das edificações e tipos de construção (Figura 4.8 a Figura 4.12).

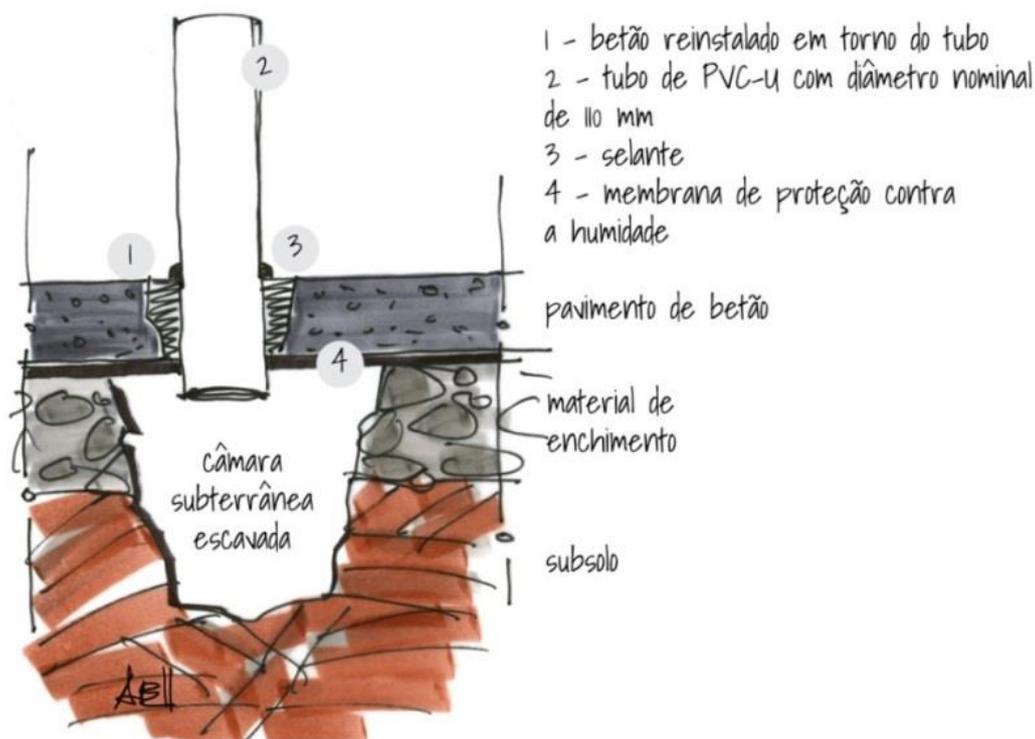


Figura 4.8 – Exemplo de sistema de despressurização do solo

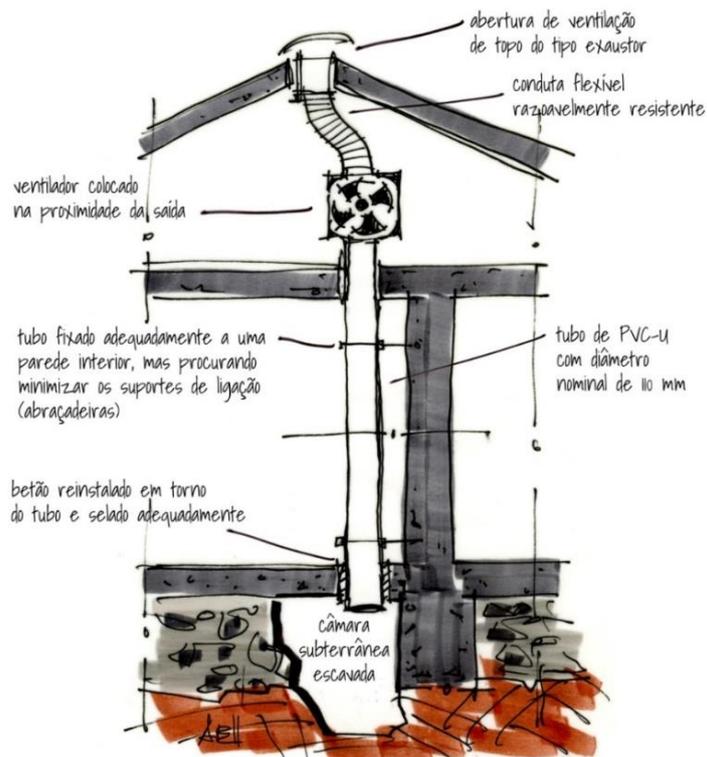


Figura 4.9 – Exemplo de sistema de despressurização do terreno debaixo da laje térrea, com ventilador localizado no interior do edifício (isolado dos espaços ocupados)

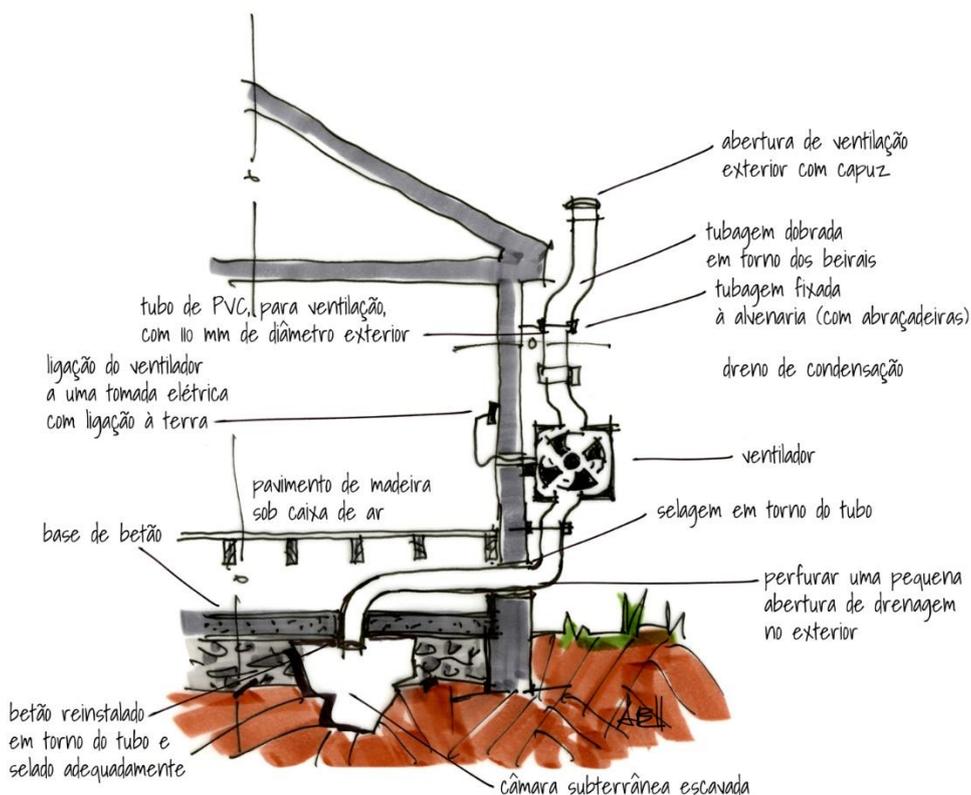


Figura 4.10 – Exemplo de sistema de despressurização do terreno debaixo da laje térrea, com condutas e ventilador localizados no exterior

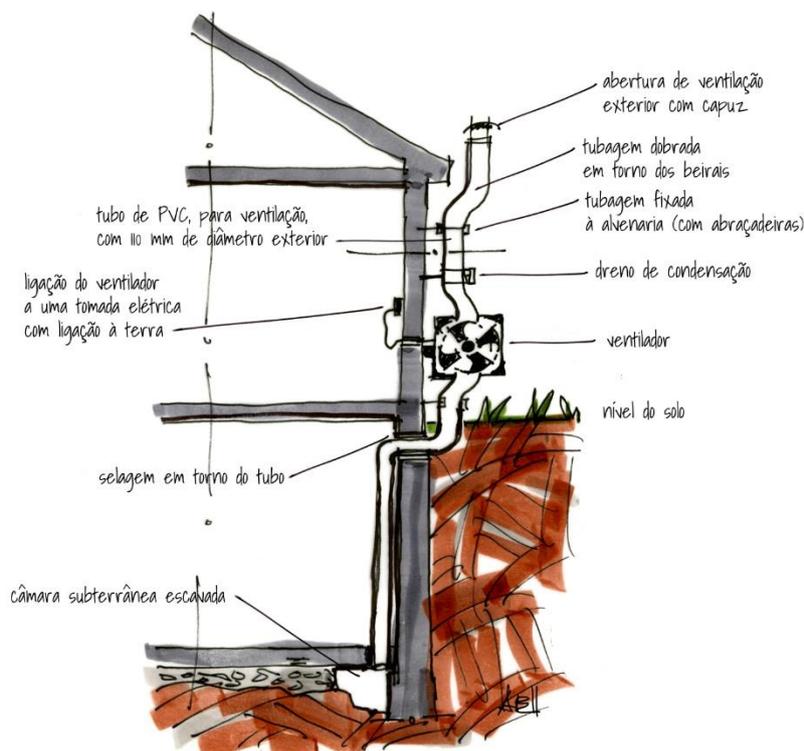


Figura 4.11 – Exemplo de sistema de depressurização do terreno debaixo da laje térrea de uma cave, com condutas e ventilador localizados no exterior

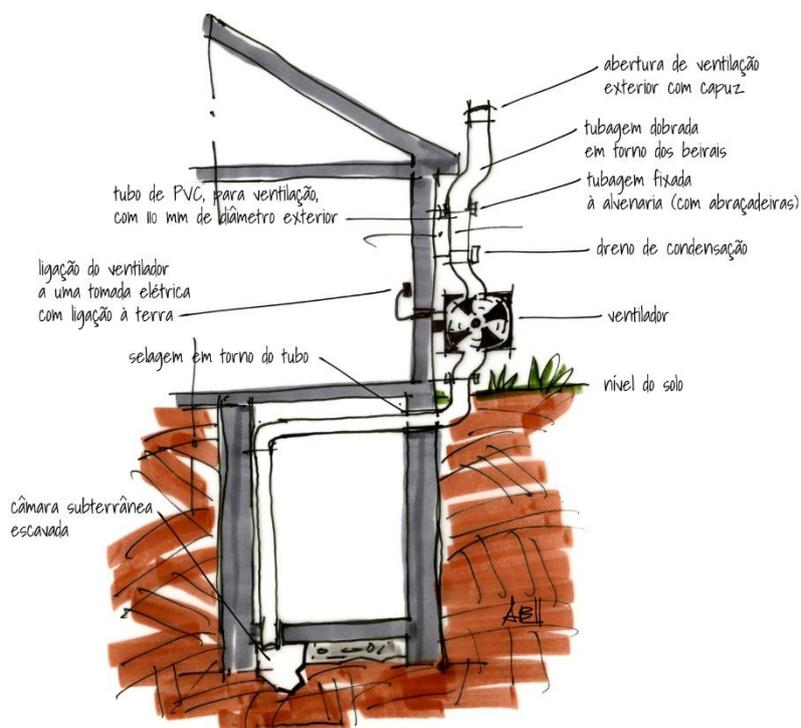


Figura 4.12 – Exemplo de sistema de câmara subterrânea instalada sob o pavimento de uma cave, com condutas e ventilador localizados no exterior

a) Conduatas de exaustão

As conduatas de exaustão podem ser inseridas atravessando diversos elementos construtivos, como pavimentos e paredes, pelo interior ou pelo exterior do edifício. Embora o número e a localização das conduatas de exaustão necessárias dependam da facilidade do escoamento do ar no solo sob a laje e do nível da fonte de radão, é frequente conseguirem-se soluções satisfatórias para o escoamento do radão com a instalação de um único ponto de exaustão. Normalmente, a conduata é constituída por tubos de poli(cloreto) de vinilo não plastificado (PVC-U) de 110 mm de diâmetro.

De forma a evitar o atravessamento da membrana anti radão que venha a ser colocada sobre a câmara, a conduata de extração deve ser conduzida através das suas paredes, e das paredes do edifícios, para para o exterior (Figura 4.13), e não através do pavimento (Gwine, 2013), (Scivyer, 2015a), devendo-se sempre garantir a selagem da conduata nas juntas da zona de atravessamento (paredes da câmara de aspiração e lintéis ou paredes de fundação).

As conduatas de exaustão dos sistemas de aspiração do radão do solo elevar-se-ão, em regra, pelo menos 0,50 m acima do elemento mais elevado da cobertura dos edifícios (e a pelo menos 3 m do nível do solo), e bem assim das edificações contíguas existentes num raio de 10 metros (Viegas, 2002; EPA, 2013). As bocas de saída das tubagens de exaustão assim localizadas, devem estar pelo menos 90 cm acima de qualquer abertura aí existente (Gwine, 2013). Devem ainda estar a pelo menos 3 m de distância de janelas, portas ou outras aberturas, caso as saídas dos tubos de exaustão não estejam pelo menos à distância de 60 cm acima dessas aberturas (EPA, 2013); pretende-se com esta disposição evitar que o gás radão seja readmitido na habitação.

Porém, no Reino Unido, é permitido que as saídas de exaustão ativas, localizadas no exterior, ao nível do solo (normalmente dotadas de sistema de proteção aos agentes atmosféricos e facilmente acessíveis para limpeza), possam ficar afastadas pelo menos a 1,50 m de quaisquer vãos de compartimentos de habitação ou de outra utilização do edifício, como portas, janelas e aberturas de ventilação, bem como de outros edifícios ou espaços regularmente utilizados, designadamente pátios, jardins, etc., (Scivyer, 2013)⁴.

As bocas de saída das tubagens de exaustão ao nível do solo, não ativas, devem ficar distanciadas a cerca de 100 mm da parede do edifício e a pelo menos 300 mm acima do nível do solo (Gwine, 2013). Até que o ventilador seja instalado, devem manter-se fechadas com uma tampa (para evitar a entrada de chuva e de pequenos animais) e estarem assinaladas com uma placa fixada na parede, acima da tampa, de forma a identificar o sistema de radão (Gwine, 2013). Deve ainda procurar-se que essa localização tenha o menor impacto estético possível na fachada do edifício, tanto mais que a ela poderá ainda vir a ser ligado um ventilador, caso seja necessário.

⁴ : Havendo recomendações diferentes nos Estados Unidos e no Reino Unido para a distância das bocas de saída das tubagens de exaustão em relação às aberturas existentes nos edifícios, considera-se que em Portugal deverá, pelo menos, ser respeitada a distância preconizada pelos ingleses, devendo preferencialmente, e sempre que possível, respeitar-se a distância preconizada pelos americanos.

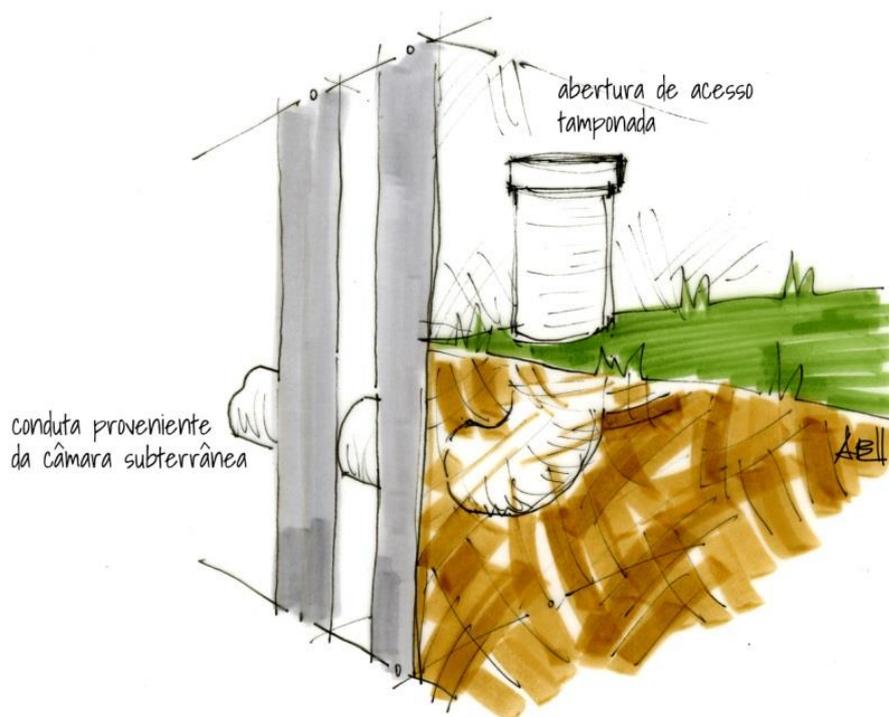


Figura 4.13 – Esquema de atravessamento, pela parede, da conduta proveniente da câmara subterrânea com saída no exterior, acima do nível do solo, deixada inativa na construção para eventual utilização futura

A disposição da conduta e o seu percurso no interior ou no exterior do edifício está naturalmente dependente da configuração (“layout”) dos espaços desse edifício e da localização do sistema de despressurização. Preferivelmente a conduta deve ser colocada em ductos⁵, o melhor disfarçados possível nos espaços do edifício, de forma a se poder aceder para efeitos de manutenção ou reparação. Os ductos que alojam as condutas a jusante do ventilador têm de ser bem ventilados para o exterior e isolados dos espaços ocupados da edificação, para se evitar que as fugas, devidas à permeabilidade das juntas entre componentes das condutas, venham a originar a contaminação de espaços ocupados com radão.

Também pode ser necessário isolar acusticamente a conduta para minimizar o ruído gerado pelas vibrações devidas à circulação do ar no seu interior.

A conduta deve ser ainda auto drenante para evitar que as condensações no seu interior afetem os componentes do sistema de despressurização, nomeadamente os ventiladores e fiquem retidas nas mudanças de direção da conduta.

Quando a ativação do sistema de despressurização do terreno não estiver prevista logo após a conclusão do edifício, mas apenas para o caso de se verificar, durante a utilização do edifício, se existe

⁵: Canal ou espaço que liga várias zonas do edifício para passagem e ocultação de condutas, cabos, etc, que permite a realização de operações de manutenção e reparação.

contaminação significativa da zona ocupada com radão, a embocadura da conduta de extração deve ficar tamponada, com uma identificação visível da sua função, de forma a não ter uso diferente daquele para a qual foi prevista e também para impedir a entrada de animais e lixo (Figura 4.13). De facto, muitas vezes faz-se apenas a pré-instalação deste sistema, verificando-se a sua eficiência sem a colocação do ventilador, que será posteriormente colocado caso essa eficiência não seja a suficiente para eliminar a quantidade suficiente de radão do terreno.

b) Câmaras de aspiração subterrâneas

Quanto ao tipo de câmaras de aspiração subterrâneas, existem soluções prefabricadas de plástico, usadas em sistemas simples de despressurização (Figura 4.14) ou em sistemas múltiplos (Figura 4.15), que podem ser fácil e rapidamente instaladas no terreno ou na caixa de ar sob o pavimento térreo de edifícios novos (Scivyer, 2015a), (Gwine, 2013), caso ela exista.



Figura 4.14 – Ilustração de vários tipos e formatos de câmaras de aspiração subterrâneas prefabricadas

As fichas técnicas destes produtos e os respetivos certificados, descrevem as suas características, contêm as instruções detalhadas de aplicação, bem como os pormenores construtivos relevantes.

As câmaras também podem ser construídas no local, usando, por exemplo, tijolos perfurados (ou não) colocados em forma de alvéolo, de modo a formar uma caixa em redor da extremidade da conduta (Figura 4.16 e Figura 4.17). As juntas verticais devem ser deixadas abertas, argamassando apenas as horizontais (Scivyer, 2015a).

As câmaras prefabricadas são preferíveis às de tijolos executadas *in situ*, pois são mais fáceis de instalar e menos suscetíveis de sofrer danos durante a compactação do material de preenchimento em redor da câmara (Scivyer, 2015b).

Relativamente ao número de câmaras, uma única câmara de extração de radão poderá ser suficiente para reduzir a entrada de radão pelos pisos inferiores da edificação, quando o terreno é constituído por um material permeável; uma câmara única é satisfatória para uma habitação com uma área aproximada

de implantação de cerca de 250 m², e desde que a distância à câmara não ultrapasse cerca de 15 m (Gwine, 2013).

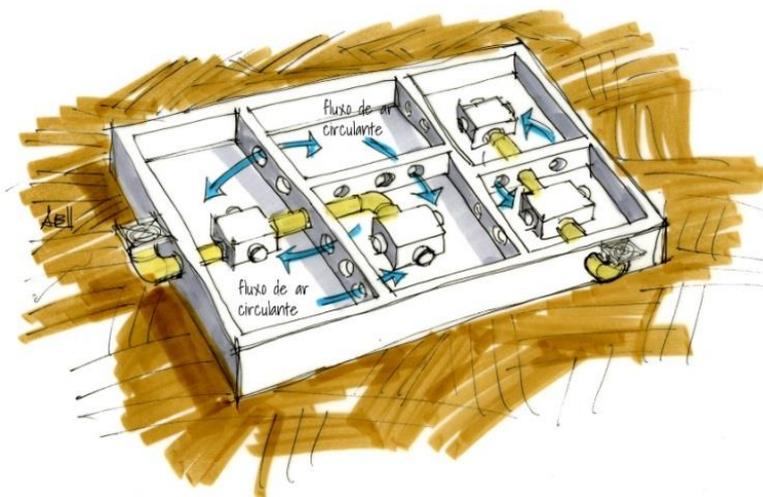


Figura 4.15 – Ilustração de um sistema prefabricado de despressurização do terreno debaixo da laje, contendo as câmaras de aspiração, as condutas e as respetivas tampas, que serão retiradas e posteriormente ligadas ao sistema de exaustão

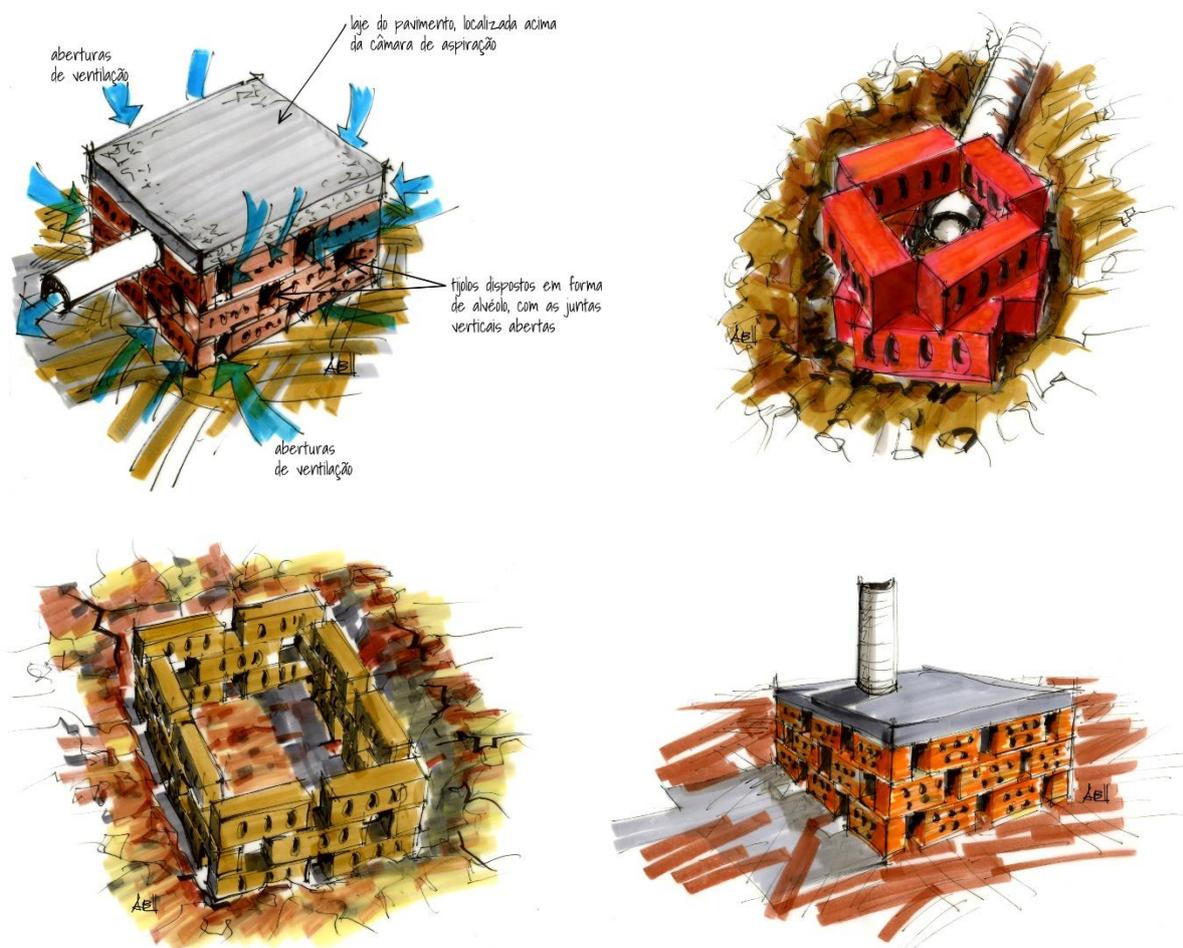


Figura 4.16 – Ilustração esquemática de vários tipos de câmara de despressurização do terreno possíveis de ser construídas no local da obra

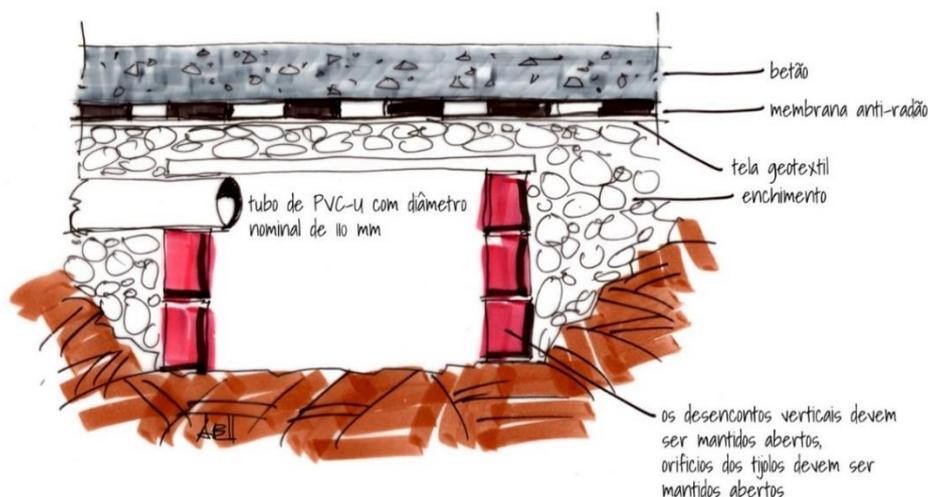


Figura 4.17 – Detalhe construtivo de um sistema de despressurização do terreno debaixo da laje térrea com câmara construída no local da obra

Em obras de ampliação de edifícios existentes, para além da câmara a executar sob o pavimento térreo dessa ampliação, é conveniente realizar também uma câmara sob o pavimento do edifício existente, ligando as duas através de uma conduta (Figura 4.18).

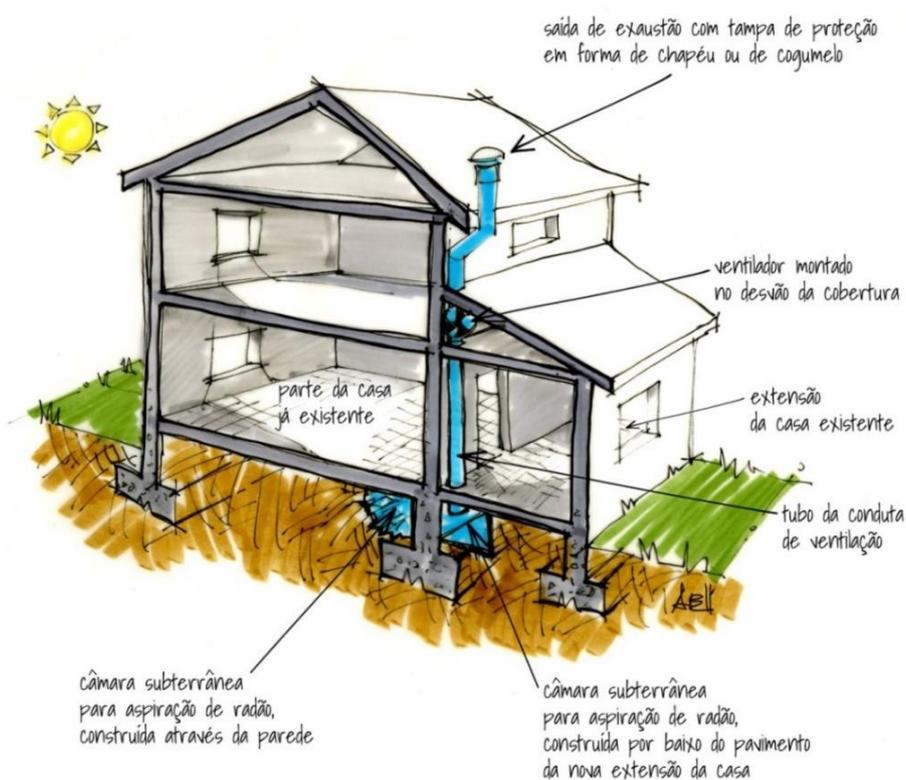


Figura 4.18 – Ilustração de duas câmaras ligadas, uma do edifício ampliado e outra do existente

c) Ventiladores

Relativamente aos ventiladores, as localizações mais comuns para a sua colocação são os espaços não condicionados do interior do edifício ou suas frações, como o desvão da cobertura, ou no exterior do edifício; note-se que deve ser considerada a possibilidade de os ventiladores gerarem ruídos incómodos para os espaços utilizados do edifício, pelo que devem ser dotados de silenciador.

De qualquer modo a localização preferencial dos ventiladores será no interior do edifício, respeitando os requisitos estéticos e de segurança vigentes na zona da construção.

Porém, o ventilador deve estar localizado o mais próximo possível da saída de exaustão, em locais bem ventilados para o exterior e isolados das zonas ocupadas, para se evitar que as fugas, devidas à permeabilidade das juntas entre componentes das condutas de exaustão (a jusante do ventilador), venham a originar a contaminação de espaços ocupados com radão (Scivyer, 2015a); esta situação pode levar a que o ventilador seja colocado na cobertura.

Qualquer ventilador instalado no exterior, terá de ser resistente aos agentes atmosféricos, pelo que na maior parte dos casos é mais prudente que ele seja montado dentro de uma caixa estanque à água e resistente à ação dos agentes atmosféricos normais, e a eventuais ações ocasionais dos utilizadores; pode sempre minimizar-se o impacto estético sobre o edifício através de soluções que sejam agradáveis visualmente.

Quanto à quantidade e às características dos ventiladores, deve aplicar-se o referido no Anexo 2 da publicação dedicada às técnicas de mitigação de admissão de radão em edifícios (Real, Lopes, Viegas; 2020).

4.3.3 Casos particulares de sistemas de despressurização do terreno debaixo da laje térrea

a) Sistemas simples com câmaras afastadas ou próximas de paredes exteriores

As câmaras subterrâneas de um sistema de despressurização abaixo do pavimento de uma cave ou de um pavimento térreo podem localizar-se mais afastadas (Figura 4.19) ou próximas (Figura 4.20) de paredes exteriores (Scivyer e Jaggs, 1998). O método de construção da câmara é semelhante ao referido anteriormente.

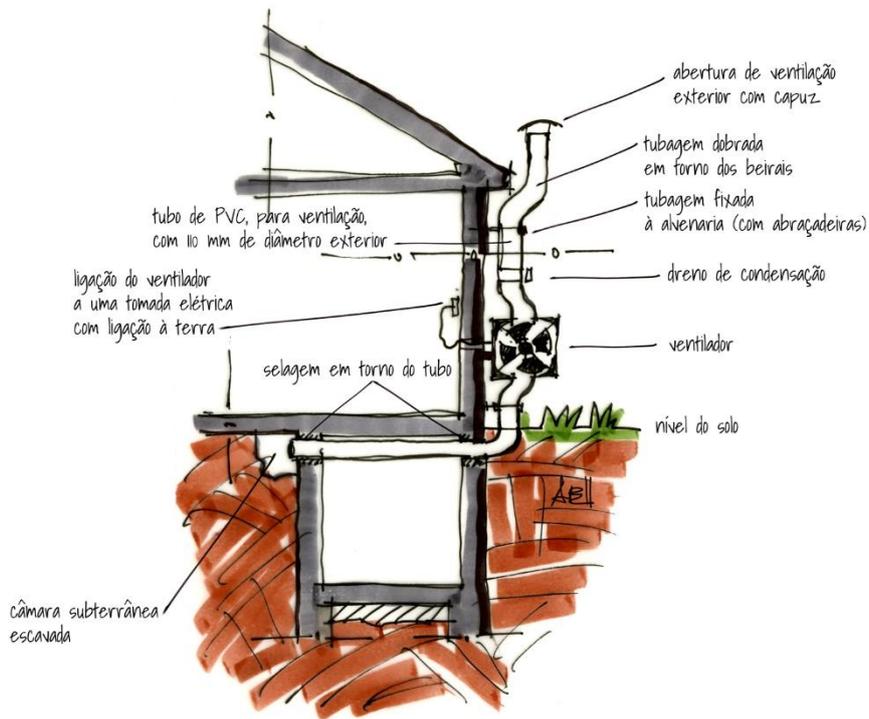


Figura 4.19 – Exemplo de sistema de câmara subterrânea afastada de paredes exteriores, com conduta e ventilador localizados no exterior

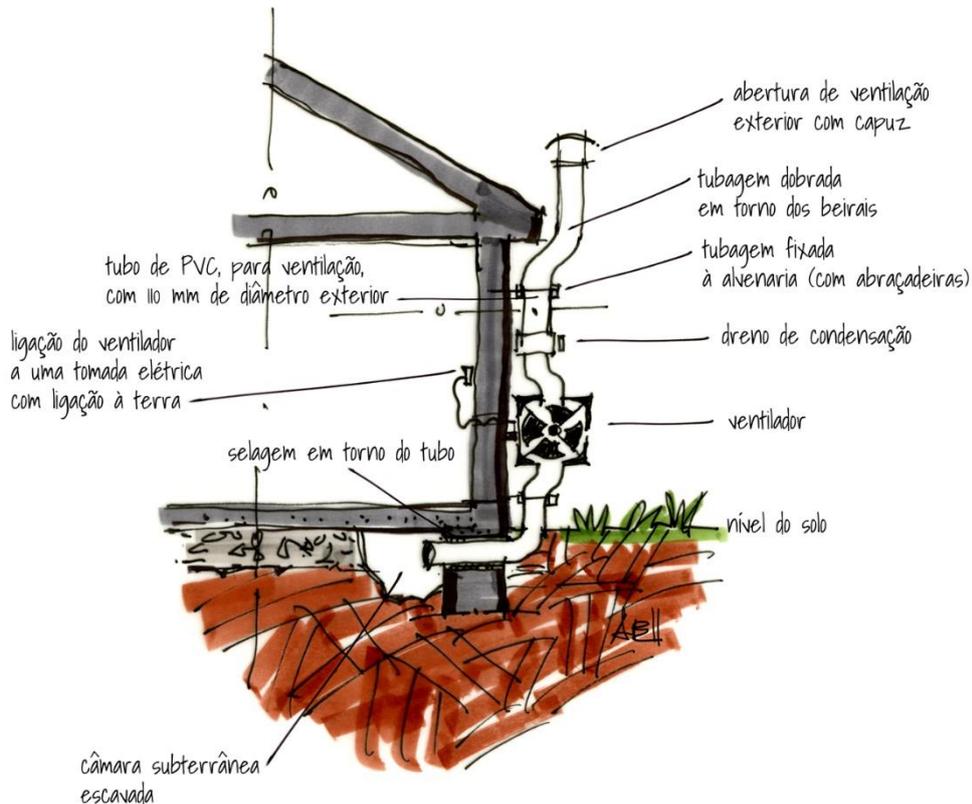


Figura 4.20 – Sistema de depressurização com câmara subterrânea junto a uma parede exterior, com conduta e ventilador localizados também no exterior

b) Sistemas múltiplos com várias câmaras

Em edifícios de grandes dimensões em planta, onde a área do piso térreo ou das caves é elevada, pode ser necessário instalar mais do que um único sistema de despressurização, ou pelo menos várias câmaras no terreno; para reduzir custos de instalação e operação, a ligação de várias câmaras a um único ventilador pode ser, aliás, uma das soluções a implementar (Figura 4.21). Um outro exemplo onde este tipo de solução pode ser aplicado, é o caso de habitações unifamiliares geminadas, construindo as câmaras subterrâneas e as respetivas tubagens do sistema de despressurização em cada habitação, ligando-os depois todos a um único ventilador e sistema de exaustão, reduzindo assim novamente os custos referidos (Scivyer e Jaggs, 1998).

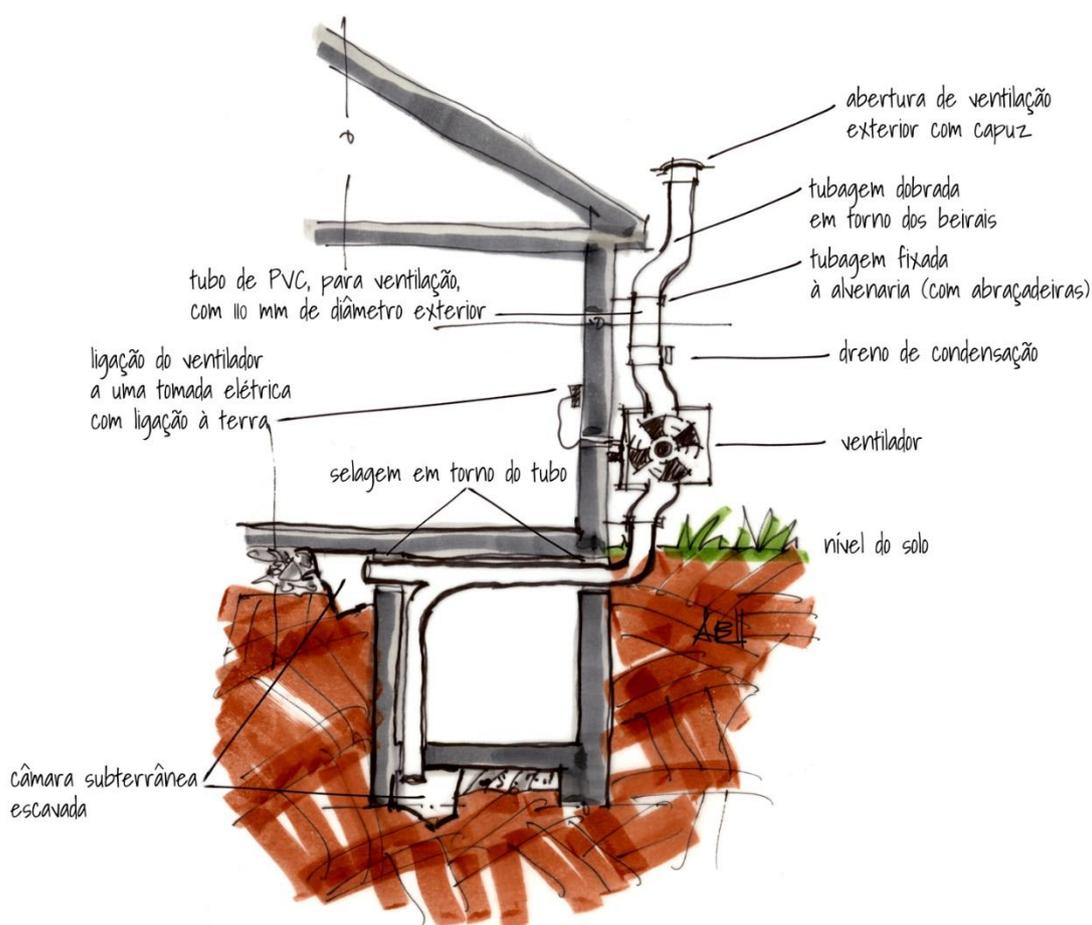


Figura 4.21 – Exemplo de sistema múltiplo constituído por duas câmaras subterrâneas e um único ventilador

c) Despressurização de desvãos sanitários sob membranas contra o radão

Um método eficaz para reduzir os níveis de radão em edifícios com desvão sanitário (caixa de ar sob o pavimento térreo) consiste na cobertura do solo com uma membrana impermeável ao radão, usando

simultaneamente um sistema de despressurização no desvão, que permita extrair o radão daquele espaço através da colocação das câmaras já referidas sob a membrana, e ventilando para o exterior utilizando ventiladores adequados e convenientemente localizados.

d) Despressurização do desvão sanitário sem membrana contra o radão

A construção de desvão sanitário sem membrana contra o radão não é recomendável, exceto em zonas em que a presença de radão seja muito diminuta. Nesse caso, pode-se promover a despressurização ativa ou passiva do desvão sanitário, que envolve a aspiração de ar diretamente desse espaço usando ou não um ventilador. No caso de se recorrer apenas à ventilação passiva, devem-se realizar aberturas de ventilação nas paredes exteriores.

Porém, a ventilação (ativa ou passiva) de desvão sanitário requer uma atenção especial devido ao potencial retorno de produtos da combustão provenientes de aparelhos de queima localizados no piso térreo ou cave, obrigando a que se faça uma boa vedação desse desvão sanitário em relação a outros compartimentos do edifício (EPA, 2013).

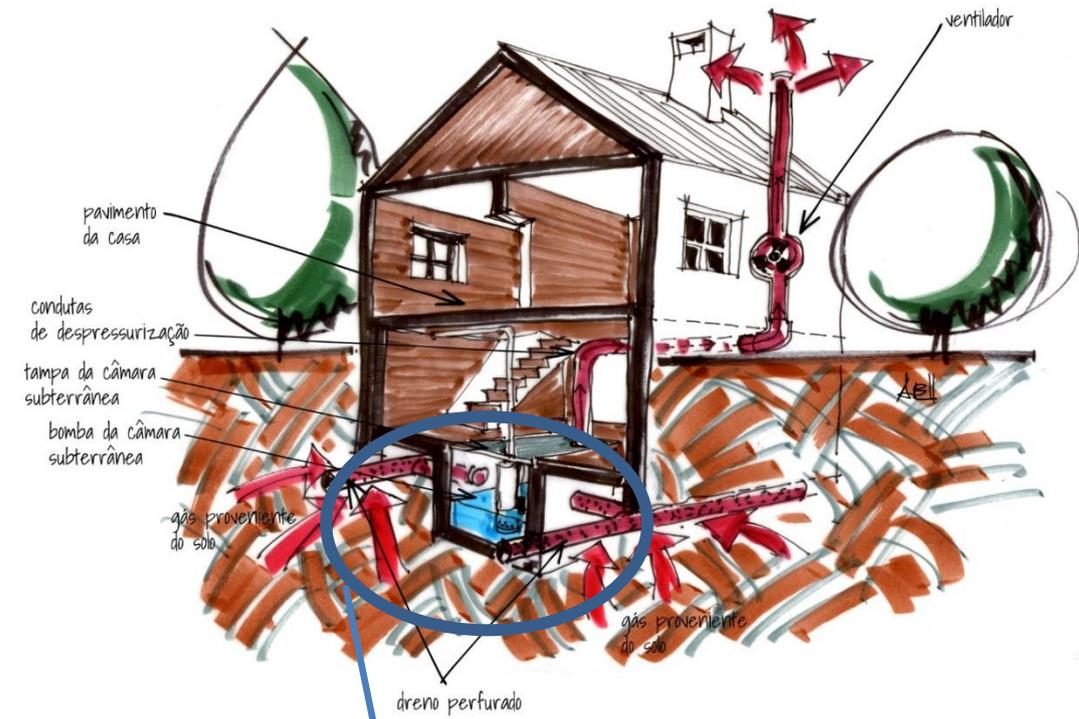
e) Aproveitamento de sistemas de drenagem

Quando se preveja a instalação nos edifícios de sistemas de drenagem de águas pluviais instalados sob o piso térreo ou o piso das caves, com o objetivo fundamental de procurar reduzir a permanência de água no terreno junto à envolvente do edifício, estes sistemas podem ser também usados para captar o radão do terreno, desde que continue a ser garantida a capacidade de drenagem do sistema e essa drenagem se faça para a rede pública de águas pluviais ou para zonas afastadas do edifício.

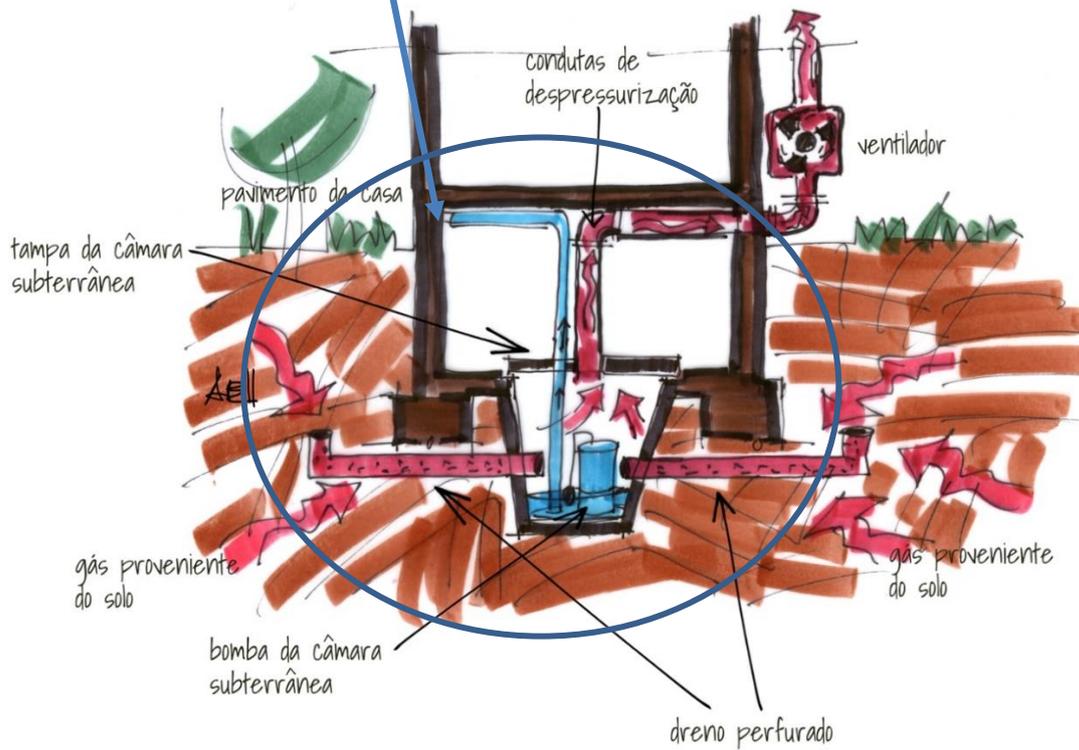
Existem três tipos de sistemas de drenagem subterrânea que podem ser facilmente adaptados para captar o radão do solo debaixo de um edifício, e que podem ser usados, isoladamente ou em conjunto (EPA, 2013).

Se se prever nas caves um depósito de recolha e bombagem da água da chuva provinda do terreno, pode-se fazer passar, preferivelmente através da respetiva tampa, uma conduta de ventilação que será ligada a um ventilador; este removerá o radão do solo através do depósito, fazendo-se a sua exaustão para uma saída localizada acima da cobertura do edifício (Figura 4.22). É importante garantir que a referida tampa continue a poder ser removida, quando necessário, nomeadamente para permitir a manutenção da bomba de água instalada no depósito.

Um sistema alternativo ou complementar de drenagem que se pode utilizar para aspiração de radão, consiste no aproveitamento de tubagens drenantes perfuradas a instalar para drenar águas provenientes do terreno, sob os pavimentos térreos, ligando-as a um sistema de ventilação constituído por condutas de ventilação (incluindo as de exaustão) e ventiladores mecânicos similares ao referido na solução anterior. No caso de existirem pontos de emergência desta conduta à superfície do terreno, instalados para inspeção, estes devem ser fechados por válvulas de modo a possibilitar que o ventilador crie uma baixa pressão ao mesmo tempo que se permite que a água seja drenada.



a) Perspetiva geral



b) Pormenor

Figura 4.22 – Esquema simplificado de um sistema de aspiração de radão por tubos de drenagem pluvial e depósito subterrâneo

Por fim, existe um outro tipo de sistema de aspiração do radão que pode ser usado quando as paredes enterradas forem formadas por tijolos ou blocos perfurados, pelo menos na zona inferior da parede (Figura 4.23). Este método, menos corrente em edifícios novos, remove o radão através da despressurização da parede, de forma semelhante à realizada pelo método de despressurização sob os pavimentos térreos (ver secção 4.3.3 a)) e é frequentemente usado em combinação com este.

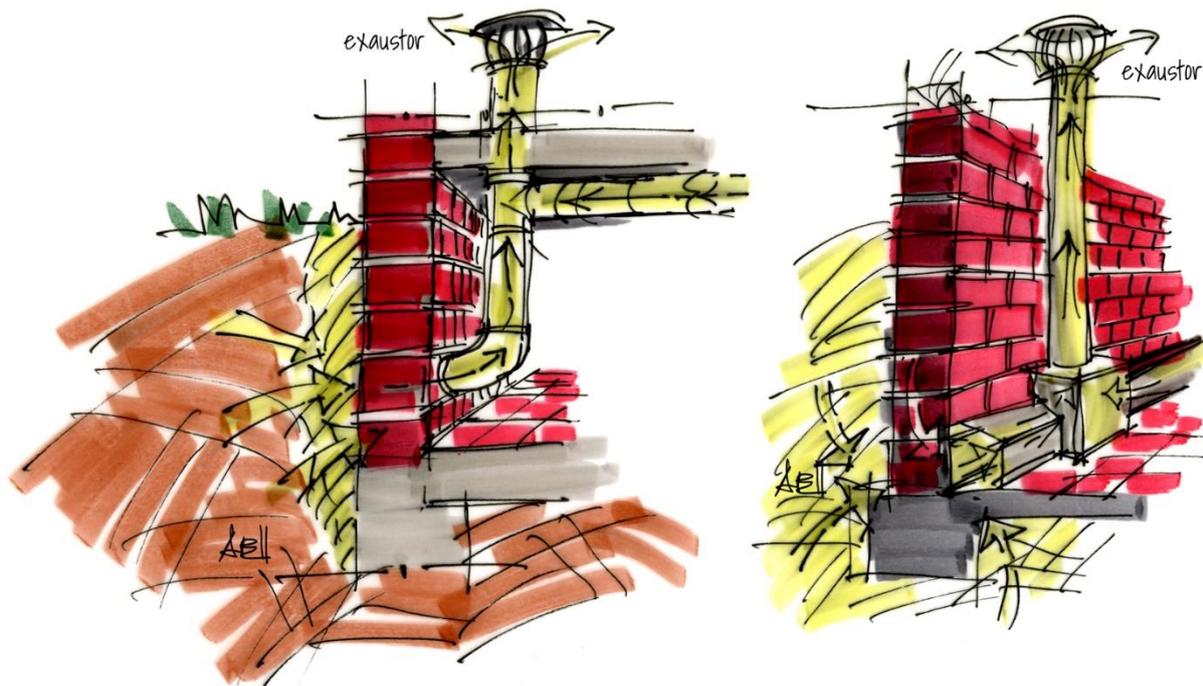


Figura 4.23 – Esquema simplificado de um sistema de aspiração pelas aberturas dos tijolos ou blocos perfurados de paredes enterradas

4.3.4 Recomendações sobre os sistemas de ventilação para despressurização

4.3.4.1 *Recomendações gerais*

Para garantir o bom funcionamento, eficácia e segurança dos sistemas de ventilação, que devem estar permanentemente ligados em sistemas de despressurização subterrânea ativos, sugere-se que se adotem as recomendações gerais seguintes:

- Os sistemas de redução de radão devem estar claramente sinalizados, incluindo a conduta de ventilação e exaustão, de forma a permitir a sua clara diferenciação e evitar alterações acidentais no sistema que possam interromper a sua função. Uma possibilidade é usar tubos com cor diferente ou, em alternativa, recorrer-se à utilização de fita adesiva colorida, cujo estado de conservação deve ser analisado nas manutenções periódicas.
- As ligações elétricas de todos os sistemas ativos de redução de radão devem ser instaladas de acordo com a regulamentação existente.

- Os sistemas de ventilação devem ser dotados de um dispositivo de aviso eficaz que permita alertar quando o sistema deixar de funcionar corretamente. O dispositivo de aviso deve ser colocado onde possa ser visto ou ouvido com facilidade e deve ser periodicamente verificado nas manutenções periódicas.
- Para se verificar a eficácia inicial do sistema, deve realizar-se um teste de radão num prazo de 30 dias após a instalação do sistema, mas não antes de passarem 24 horas após o sistema estar em funcionamento com o ventilador ligado (se for o caso), de preferência recorrendo a uma entidade independente, de forma a eliminar qualquer potencial conflito de interesses.
- Deve realizar-se um segundo teste de radão após ocupação do edifício, para avaliar a eficácia da membrana anti radão instalada.
- Se o valor obtido for superior a valor de referência nacional (300 Bq/m^3), deve-se ativar o sistema de despressurização do terreno mantido em *stand by* e voltar a testar após ativação, mas não antes de terem decorrido 24 horas após o sistema estar em funcionamento.
- A verificação dos níveis de radão deve ser repetida após cerca de 4 a 5 anos de construção, para avaliar o impacto de eventuais fissuras resultantes do assentamento do edifício e de eventuais defeitos dos materiais de construção ou da sua aplicação, ou seja, antes da conclusão do período de garantia da construção (5 anos).
- As determinações dos níveis de radão deverão ser repetidas a intervalos de cinco a dez anos e após quaisquer alterações substanciais no edifício, quer sejam construtivas quer sejam na forma como este é utilizado (por exemplo, na alteração do tipo de ocupantes). Intervenções como a ampliação do edifício ou trabalhos de conservação ou reabilitação, nomeadamente a instalação de nova caixilharia, mais estanque ao ar, e com vidros mais isolantes, podem alterar os padrões de ventilação e/ou aquecimento, podendo afetar a concentração de radão no interior do edifício
- O sistema deve possuir garantia e um manual de instruções. Para além deste, o utilizador deve ainda receber instruções verbais sobre o seu funcionamento.
- Para além de outros aspetos, deve realizar-se um controlo do estado de conservação das marcações de identificação dos sistemas, designadamente as fitas adesivas e etiquetagem, devendo ser emitida uma folha com a lista de trabalhos e verificações de manutenção sempre que esta ocorrer.

4.3.4.2 Ruído

Os problemas associados ao ruído estão mais frequentemente associados ao funcionamento de sistemas de ventilação mecânica, quer o introduzido pelo funcionamento do ventilador quer pela turbulência que o escoamento do ar nas condutas possa provocar.

Na maioria dos casos, os ventiladores que sejam instalados sob pavimentos de betão armado ou similares, ou sobre a laje do mesmo material do teto do último piso, não são origem de ruído incomodativo para os utentes dos edifícios. Convém sempre garantir que, não só os ventiladores como

as condutas de exaustão, fiquem dessolidarizados dos elementos estruturais e das paredes através de apoios ou fixações resilientes que atenuem a transmissão de vibrações para o interior dos espaços utilizados dos edifícios. Assim, convém em geral que as condutas de exaustão sejam colocadas no exterior do edifício, ou em locais relativamente isolados acusticamente desses espaços.

Note-se que um ventilador mecânico deve poder trabalhar continuamente com caudal baixo e a altas diferenças de pressão. De forma a minimizar a incomodidade provocada pelo ruído sugerem-se ainda as seguintes recomendações, a serem adotadas pela ordem de prioridade decrescente indicada:

- Posicionar a saída de exaustão afastada das portas ou janelas, especialmente das janelas das divisões que se destinem a quartos de dormir, nomeadamente daquelas que possam ser deixadas parcialmente abertas à noite (por exemplo, janelas oscilo-batentes), para garantir a ventilação natural da habitação;
- Evitar a instalação de ventiladores mecânicos por baixo ou por cima de pavimentos de espaços com ocupação mais frequente, ou noturna, como é o caso de salas de estar, de escritórios e de quartos. Assim, sempre que possível, os ventiladores devem ser instalados nas zonas do *hall* de entrada e/ou corredores;
- No caso de ventiladores colocados no exterior, envolver pelo interior a caixa de proteção do ventilador aos agentes atmosféricos normais com um material absorvente sonoro;
- Procurar que os ventiladores não sejam diretamente fixos ao pavimento, especialmente se esses pavimentos forem constituídos com base em elementos de madeira;
- Em função do nível de ruído previsto no interior do edifício, encarar a possibilidade de instalar um silenciador (sistema de absorção de vibrações) nos ventiladores.

4.3.4.3 *Estética*

As condutas de exaustão e os ventiladores podem ser colocados no interior ou no exterior dos edifícios, tendo em atenção aspetos de natureza estética.

Os ventiladores colocados no exterior acima do nível do solo, na parede ou à superfície do terreno, podem ser ocultados com caixas que os envolvam (ver secção 4.6.4), ou com plantas devidamente dispostas.

Os ventiladores colocados no interior também podem ser montados de forma oculta, de modo a minimizar o impacto estético no interior do edifício, para além dos já mencionados aspetos ligados à emissão de ruído no interior dos espaços ocupados; igualmente devem ficar ocultas as tubagens interiores do sistema de ventilação.

4.4 Ventilação natural

4.4.1 Generalidades

Os sistemas de ventilação natural requerem instalação de sistemas adicionais de proteção ao radão, pois apenas são adequados para níveis de radão até 400-500 Bq/m³ (eventualmente 700 Bq/m³, em certos casos) (Scivyer e Jaggs, 1998).

De facto, a grande variabilidade das ações que promovem a ventilação natural (velocidade do vento e diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício) não permite garantir que o escoamento se faça com caudais tais de modo a remover satisfatoriamente o radão do edifício.

Em edifícios novos, as medidas de prevenção atrás referidas (vedação com aplicação de membranas contra o radão e despressurização do terreno) são suficientes, por permitirem a redução de radão presente até níveis muito superiores aos indicados.

Porém, quando o nível de radão na área de construção está apenas ligeiramente acima do nível de referência (300 Bq/m³, em Portugal), a redução para uma concentração abaixo desse nível pode ser alcançada simplesmente através de ventilação natural, sem necessidade de recorrer a outros sistemas de proteção adicional ou complementar.

No entanto, mesmo sem ter como objetivo a prevenção à admissão de radão, é sempre necessário prever a instalação de sistemas de ventilação em edifícios novos (seja natural ou mecânica), uma vez que a ventilação é essencial para assegurar as condições de salubridade da habitação, através de uma adequada qualidade do ar. Serve também para reduzir o teor de humidade no ar, minimizando a possibilidade de desenvolvimento de bolores e fungos e a eventual podridão de peças de madeira e, conseqüentemente, reduzir a possibilidade de contaminação do ar interior.

Os sistemas de ventilação natural, que se baseiem no efeito de chaminé, funcionam melhor em climas frios, devido ao facto de ser maior a diferença de temperatura entre o interior e o exterior dos edifícios, potenciando o efeito chaminé.

Quando a ventilação natural se prevê que seja insuficiente e não possa ser melhorada, pode-se instalar também um sistema de ventilação mecânica nos espaços do edifício (ver secção 4.5), situação que deve ser evidentemente avaliada na fase de projeto ou do estudo preliminar.

Em Portugal, a ventilação natural das habitações deve ser realizada de acordo com a norma portuguesa NP 1037-1 (IPQ, 2015).

Tendo em conta que as caves, as arrecadações, as zonas de comunicação interiores e os parques de estacionamento fechados constituem espaços que estão diretamente em contacto com o solo, a possibilidade de aí ocorrer a contaminação com radão é mais elevada, pelo que nas secções seguintes se detalha a aplicação da técnica da ventilação natural nesses espaços.

4.4.2 Ventilação natural de caves

Não é fácil instalar sistemas de ventilação natural em caves completamente enterradas, exceto recorrendo a condutas para promover, quer a admissão de ar quer a sua exaustão, ou em certas circunstâncias, fazê-la através das comunicações horizontais interiores.

No caso de caves parcialmente enterradas, a ventilação natural pode ser introduzida por meio de blocos perfurados, janelas ou grelhas de ventilação (frequentemente em plástico ou metálicas) ou por meio de outras aberturas de ventilação (criadas nas paredes), as quais devem ser dotadas de algum tipo de proteção contra animais ou insetos.

É importante garantir que a ventilação natural nas caves se faça a partir do exterior do edifício e não dos compartimentos dos pisos superiores, devido ao risco de ocorrer inversão do sentido do escoamento por ação do vento. Também não deve haver aproveitamento do ar existente numa cave (porventura contaminado com radão) para ventilação dos espaços sobrejacentes do edifício.

A situação ideal de ventilação em espaços enterrados corresponde a ter aberturas em, pelo menos, duas paredes diferentes (preferivelmente opostas) e com áreas de abertura reais de pelo menos 15 cm² por cada metro de parede, o que pode ser difícil de alcançar quando o pavimento do piso térreo esteja abaixo do nível do solo, ou seja, quando não se trate de caves semienterradas. Nesse caso, pode apenas ser possível criar aberturas de ventilação ao longo de uma das fachadas do edifício (Scivyer e Jaggs, 1998).

Como as aberturas de ventilação devem estar instaladas acima do nível do terreno (pelo menos, a 0,15 m acima), pode ser necessário usar tubos ou aberturas de ventilação periscópicas. Em qualquer dos casos, deve-se usar o menor número possível de mudança de direção das tubagens, para limitar as perdas de carga.

As aberturas de ventilação que atravessam as paredes da cave devem ser protegidas por mangas, em particular nas zonas em que a parede da abertura tenha de ser isolada.

No caso de semicaves, pode-se ainda recorrer a aberturas de ventilação instaladas em janelas, com grelhas de ventilação incorporadas (frequentemente de plástico, Figura 4.24).

Também poderá ser possível fazer a aplicação de aberturas de ventilação nos perfis dos caixilhos; todavia, é necessário que se assegure que estas aberturas não alterem o equilíbrio de pressões no interior do caixilho, de forma a continuar a ser assegurada a sua estanquidade à água. Se estas aberturas de ventilação forem de regulação manual, devem ser mantidas permanentemente abertas, para permitir reduzir o nível de radão. As aberturas de ventilação não precisam de ser muito significativas, sendo suficiente terem entre 40 e 80 cm² de área livre por janela, ficando melhor localizadas se forem instaladas na parte superior do caixilho (Scivyer e Jaggs, 1998).

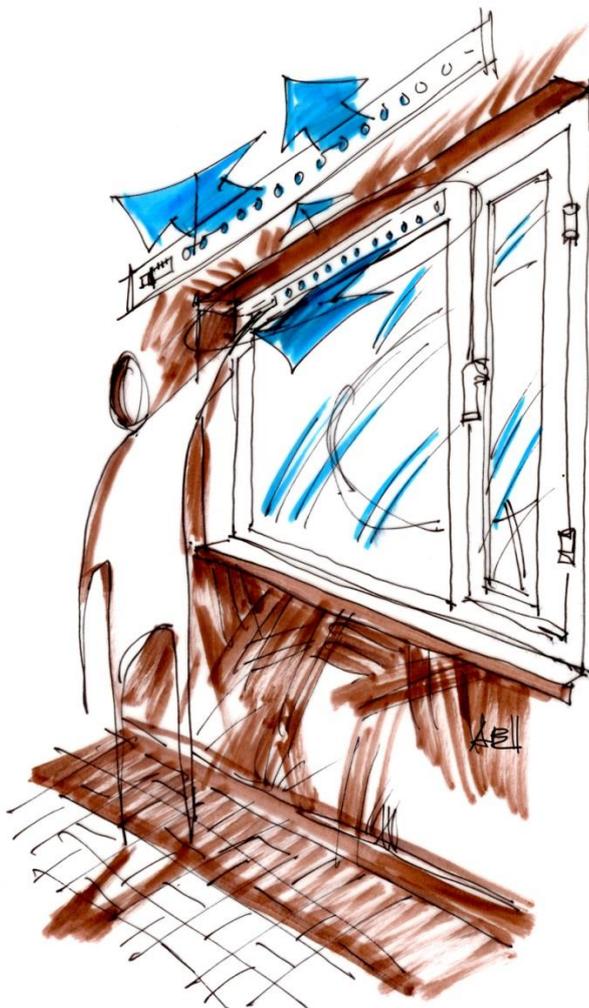


Figura 4.24 – Ilustração de grelha de ventilação regulável manualmente para janelas

As aberturas de ventilação de plástico com lâminas orientáveis são preferíveis aos blocos de argila/terracota perfurados, pois conferem geralmente maior área livre e, conseqüentemente, será necessário um menor número de dispositivos para alcançar o mesmo nível de ventilação.

Por fim, é importante referir que, para garantir o bom funcionamento da ventilação natural em caves, também é necessário assegurar a baixa permeabilidade ao ar do teto da cave e dos acessos ao piso superior, para reduzir a existência futura de correntes de ar que alterem as diferenças de pressão definidas para o bom funcionamento da ventilação natural. Também deve ser ponderada a adoção de isolamento térmico das zonas ocupadas relativamente à cave, para se evitar que a ventilação da cave venha a condicionar o desempenho térmico da habitação. Todas estas disposições devem ser devidamente consideradas em projeto.

4.4.3 Ventilação natural de arrecadações exteriores às habitações

A solução de ventilação conjunta de todo o espaço em que se encontram as arrecadações é a solução mais fácil de executar, pelo que é a recomendada. No caso de arrecadações isoladas pode ser necessário, contudo, a adoção de ventilação separada só para esse espaço. Tal solução deve ser

evitada porque dificilmente permitirá o posicionamento de aberturas de ventilação em fachadas diferentes, reduzindo conseqüentemente a desejável ação do vento na ventilação (Viegas, 2005).

As arrecadações não enterradas, ou parcialmente enterradas, para uso de residentes, quando situadas no exterior do edifício, devem também ser ventiladas de forma a reduzir o nível de radão no seu interior, permitindo assim um ambiente adequado aquando da permanência dos residentes nesses espaços, ainda que temporária.

Quando as arrecadações não dispõem dos meios adequados de ventilação natural ou mecânica, estes têm de ser implementados. No caso da ventilação natural, para se assegurar a eficácia de um sistema em arrecadações, deve ter-se em consideração os requisitos seguidamente indicados (Viegas, 2005):

- A ventilação natural deve ser realizada por aberturas praticadas em fachadas de orientação diferente, tirando partido das diferenças de pressão geradas pelo vento, ou por condutas, quando não for possível realizar essas aberturas diretamente para o exterior;
- O posicionamento destas aberturas e das condutas deve ter em conta a direção do vento predominante para o local da construção, sendo praticadas de preferência nas paredes das fachadas de barlavento e de sotavento;
- Em casos especiais, devidamente justificados, pode ser aceitável a combinação de aberturas de admissão de ar praticadas em paredes de fachada e aberturas de exaustão nas coberturas, tirando partido da depressão que pode aí ser gerada pelo vento;
- A compartimentação interior que delimita as arrecadações não deve inibir o seu arejamento. Assim, devem ser praticadas aberturas de admissão e de saída de ar das arrecadações de posicionamento coerente com a circulação de ar por ação do vento prevista para os compartimentos desse espaço;
- As comunicações horizontais que conduzem às arrecadações devem cumprir as disposições de ventilação natural em zonas de comunicações interiores.

Admite-se que, por cada espaço de arrecadação servido, é necessário considerar a área útil de 20 cm² para admissão de ar. A área útil total da secção das aberturas permanentes na fachada em comunicação direta com a mesma arrecadação não deve, contudo, exceder 200 cm², mesmo quando servirem para ventilação de mais do que dez arrecadações (Viegas, 2005).

No caso das arrecadações localizadas no interior do edifício, a entrada de ar exterior através das arrecadações não poderá prejudicar a ventilação e a desenfumagem da caixa de escada, e, como poderá vir a ocorrer a obstrução inadvertida das aberturas de ventilação das arrecadações pelos utentes, a sua secção não deve ser contabilizada para efeitos de ventilação da caixa de escada do edifício (Viegas, 2005).

Embora a utilização de aberturas de ventilação na cobertura possa por vezes vir a mostrar-se vantajosa, em diversas situações poderá ter eficácia duvidosa, em especial quando as depressões geradas pelo vento na cobertura se associarem também a depressões geradas na fachada onde estão praticadas as aberturas. Assim, a utilização de aberturas de ventilação posicionadas na cobertura é sempre especial e, como tal, deve ser devidamente justificada (Viegas, 2005).

Nesse caso as aberturas praticadas na cobertura serão sempre de exaustão e haverá, portanto, necessidade de prever aberturas nas fachadas ou condutas para admissão de ar. Se a cobertura for constituída por duas vertentes, cada uma delas fazendo um ângulo igual ou superior a 30° com a horizontal, pode ser aceitável o posicionamento das aberturas de admissão e de exaustão exclusivamente na cobertura desde que colocadas em vertentes opostas e que a aresta formada pela intersecção das vertentes da cobertura não tenha a orientação do vento predominante (Viegas, 2005).

4.4.4 Ventilação natural em zonas de comunicação interiores

Os meios de ventilação natural das comunicações interiores devem ser compatíveis com a sua desenfumagem passiva em caso de incêndio e dependem da altura de referência do edifício.

Para assegurar os meios necessários e garantir a eficácia de sistemas de ventilação natural que permitam uma adequada ventilação e a redução do nível de radão em zonas de comunicação interiores, deve ter-se em consideração os requisitos seguidamente indicados (Viegas, 2005):

- Para edifícios com altura de referência inferior ou igual a 9 m (4 pisos) e sempre que não existam portas de separação entre as comunicações horizontais interiores e as escadas, a ventilação pode ser conjunta, abrangendo quer as comunicações horizontais quer as escadas, devendo existir aberturas de admissão de ar exterior nos extremos das comunicações horizontais mais afastados das escadas e de aberturas permanentes no topo da caixa de escada;
- Para os edifícios com altura de referência entre 9 m e 28 m (entre 4 e 10 pisos), cujas comunicações horizontais interiores têm de ser separadas das escadas interiores por porta de fecho automático, ou para os edifícios até 4 pisos dotados deste tipo de comunicação interior, a ventilação deve ser separada para cada um destes espaços. Nestes casos, a ventilação natural das comunicações horizontais interiores pode ser realizada, quer por tiragem térmica ao longo de condutas coletivas com ramais da altura de um piso — umas de admissão de ar exterior, com entrada de ar situada ao nível da base do edifício, e outras de exaustão com rejeição por abertura situada ao nível da cobertura — quer por arejamento, através de aberturas permanentes, o que também permite reduzir os níveis de radão nesses espaços;
- A ventilação natural das escadas interiores pode ser realizada por arejamento, através de aberturas permanentes praticadas em cada piso, ou tiragem térmica, através de aberturas permanentes situadas na base e no topo da caixa de escada.
- Considera-se que os meios passivos de desenfumagem previstos na regulamentação relativa à segurança contra incêndio são adequados para a limitação da concentração de radão, desde que as aberturas sejam permanentes. No caso das vias de evacuação verticais, admite-se, para este efeito, que a área prevista nessa regulamentação para as aberturas de ventilação possa ser reduzida a metade.

A ventilação natural do poço do elevador em edifícios a construir em zonas que requerem a instalação de sistemas de prevenção ao radão, pode ser realizada através de aberturas praticadas na base (R/C) e no topo.

4.4.5 Ventilação natural em parques de estacionamento fechados

Os parques de estacionamento fechados são locais de considerável risco para os utentes devido aos gases tóxicos produzidos pelos motores térmicos dos veículos (monóxido de carbono e óxidos de azoto, em especial), pelo que o arejamento desses locais é essencial para evitar que as concentrações de gases tóxicos atinjam valores que possam pôr em risco a saúde das pessoas, ainda que seja temporária a sua permanência nesses locais (Viegas, 2005).

Nesta circunstância, os meios de ventilação natural instalados em parques de estacionamento não enterrados (por exemplo, construídos ao nível térreo), desde que sejam compatíveis com os sistemas de controlo de fumo em caso de incêndio, também poderão ser utilizados para promover a redução do nível de radão quando este não exceder os 300 Bq/m³, pois caso contrário devem aplicar-se as medidas de prevenção de maior eficácia, referidas nas secções 4.2 e 4.3.

No entanto, convém salientar que, como os ganhos térmicos nos parques de estacionamento fechados são em geral limitados, a ventilação natural tirará partido sobretudo da diferença de pressão gerada pelo vento em fachadas opostas, o que só é possível quando a geometria das construções nas imediações do estacionamento coberto não impuser restrições ao escoamento do ar, determinando uma redução da ação do vento nas aberturas de ventilação do estacionamento, ou quando o posicionamento das aberturas não permita a existência de zonas de estagnação, quer ao nível do pavimento quer em setores do estacionamento (por exemplo junto dos cantos).

Assim, tendo em conta a grande dificuldade em incrementar os caudais de ar nos sistemas de ventilação passivos, o recurso à ventilação natural para arejamento de parques de estacionamento cobertos, sejam individuais, sejam coletivos, está sujeito a fortes constrangimentos técnicos e é frequente recorrer-se preferencialmente a sistemas de ventilação mecânica.

4.4.6 Recomendações

As características do sistema de ventilação natural devem ser permanentes e não suscetíveis de variação com o utilizador (como por exemplo a abertura esporádica de janelas, as quais não se podem manter sempre abertas por razões de estanquidade à água da chuva, de segurança e de variação de temperatura ambiente dos espaços interiores).

O estado das grelhas de ventilação deve ser verificado pelo menos anualmente, de preferência na primavera, de forma a remover possíveis obstruções e garantir que estas não ficam bloqueadas de alguma forma. Alguns detritos podem ser retirados das grelhas com uma escova manual.

Quando o sistema de ventilação natural se manifestar insuficiente, pode ser necessário instalar um ventilador mecânico numa das aberturas de ventilação já existentes, pelo que é importante garantir que pelo menos uma das aberturas de ventilação esteja localizada de forma a permitir a instalação posterior de um ventilador, caso seja necessário.

Quando existir o risco das depressões geradas pelos meios mecânicos de mitigação da admissão de radão poderem afetar a admissão de ar dos aparelhos de combustão do tipo B, os locais onde estes se encontram devem ser isolados das câmaras de captação de radão por meios de separação de muito

baixa permeabilidade ao ar. Devem existir aberturas para a alimentação de ar novo para os aparelhos de combustão posicionadas longe das aberturas de exaustão do radão, e os aparelhos devem ser dotados de condutas de exaustão, de acordo com as prescrições das normas NP 1037-1 (IPQ, 2015), no caso de ventilação natural, e NP 1037-2 (IPQ, 2009) quando incorpora ventilação mecânica.

A ventilação a adotar em caso de incêndio nos caminhos de evacuação em edifícios de habitação está coberta pelo Regulamento de Segurança Contra Incêndio em Edifícios de Habitação (Portaria n.º 135/2020), sendo, portanto, necessário compatibilizar os meios de ventilação em situação corrente com os meios de desenfumagem. Neste sentido, as presentes recomendações preconizam a utilização das mesmas soluções previstas no referido regulamento, impondo a existência de aberturas permanentes de forma a que as ações do vento e da tiragem térmica possam promover o arejamento desses locais de forma contínua (Viegas, 2005), promovendo também a remoção do radão.

4.5 Ventilação mecânica

Embora a ventilação mecânica de espaços subterrâneos e caves permita reduzir o teor de humidade e seja normalmente mais eficaz do que os sistemas de ventilação natural, é, no entanto, também uma medida de eficácia limitada para redução do nível de radão, sendo apenas adequada para níveis de radão até 850 Bq/m³ em caves, e até 500 Bq/m³ nos pisos superiores (Scivyer e Jaggs, 1998).

No caso de edifícios novos, por princípio, não se recomenda a instalação de sistemas de ventilação mecânica no interior dos espaços, para redução do nível de radão, uma vez que a proteção conferida por instalação de membranas de proteção contra o radão e/ou de despressurização subterrânea é suficientemente eficaz e torna dispensável outras medidas menos eficazes, embora complementares.

No entanto, a instalação de sistemas de ventilação mecânica pode justificar-se em edifícios novos que não incluam os sistemas de proteção ao radão atrás referidos (membranas e sistemas de despressurização do terreno) e quando a ventilação natural se mostrar posteriormente ineficaz para manter a qualidade do ar interior. Para o projeto e execução desses sistemas deve ser seguida a norma EN 1037-2.

Nesses casos, e embora os sistemas de ventilação devam ser dotados da possibilidade de funcionarem em permanência, é recomendável instalar posteriormente, nos vários espaços do edifício, sistemas constituídos por sondas de medição que permitam medir e regular a concentração de radão mediante comunicação a unidade central ligada ao sistema de ventilação. Em redes *wireless*, se a intensidade do sinal de rádio entre os elementos individuais for insuficiente, deve instalar-se um repetidor de sinal para aumentar o campo de ação.

Caso seja necessário instalar sistemas de ventilação mecânica, após a construção de um edifício, por exemplo em zonas de comunicação interiores, em caves e em arrecadações enterradas, para melhorar a ventilação dos espaços ou, em parques de estacionamento fechados para evitar que as concentrações de gases de combustão atinjam valores que possam pôr em risco a saúde das pessoas, recomenda-se a consulta das medidas propostas no guia para mitigação de admissão de radão em

edifícios existentes (Real, Lopes, Viegas; 2020), uma vez que o que é aí referido também é aplicável nestes casos.

5 | Custos das intervenções

A prevenção do radão em edifícios novos tende a ser mais económica do que a mitigação do radão em edifícios existentes, pois não existem em geral os constrangimentos e a aleatoriedade associada às características destes edifícios, sendo uma delas o facto de estarem geralmente em uso.

O custo da prevenção do radão, em relação ao custo global do edifício, será em geral tanto menor quanto maior for a área de construção para a mesma área de implantação.

As medidas de proteção contra radão podem assim mais facilmente ser implementadas, desde que devidamente estudadas na fase de projeto ou de estudo prévio.

Como é compreensível, os custos da implementação de qualquer uma das soluções de prevenção da presença de radão no interior dos edifícios é função de um conjunto muito alargado de fatores.

Assim, podem enumerar-se os seguintes principais fatores, distribuídos por quatro grupos, que terão influência no custo global das medidas de mitigação em questão:

a) Fatores associados às características do edifício

- área bruta (ou útil) do edifício ou do espaço a intervir;
- distribuição dos compartimentos com maior ocupação por pessoas (e.g., quartos e salas, em edifícios de habitação, ou escritórios, em edifícios de serviços) e interligação com outros espaços;
- constituição dos principais elementos construtivos, como paredes, pavimentos, coberturas e caixilharia;
- pé-direito livre;

b) Fatores associados às características do terreno

- tipo de terreno (e.g., granítico, basáltico, arenoso);
- densidade de fendas, falhas, bolsas, ou outras descontinuidades, e comunicação entre elas;
- presença ou não de níveis freáticos elevados atravessando terrenos com fundo radioativo elevado;

c) Fatores associados aos materiais e equipamento usados

- características de ventiladores (e.g., potência, caudal, marca comercial);
- características das tubagens (e.g., de material plástico ou metálico, secção, comprimento, acessórios, perdas de carga);
- características de grelhas de ventilação (de material plástico ou metálico, dimensões, secção de escoamento do ar);

d) Fatores associados à execução

- qualidade da mão-de-obra;
- tipos de equipamentos necessários (e.g., compressores, retroescavadora, martelo pneumático, escopro, serra de discos);

- grau de intrusividade nos elementos construtivos (e.g., realização de aberturas em paredes, pavimentos e tetos);
- introdução de medidas de proteção adicionais para reforço da segurança estrutural dos principais elementos da estrutura resistente (e.g., paredes resistentes, pavimentos);
- grau de dificuldade na realização de câmaras de descompressão no terreno e respetivas tubagens de extração.

Note-se ainda que, em geral, as soluções de prevenção da presença de radão servem também para mitigar outro tipo de potenciais problemas em edifícios novos, como a estanquidade à água proveniente do terreno ou a salubridade do ar no interior dos edifícios. Estes factos podem também dificultar a discriminação dos custos associados apenas à implementação das medidas de prevenção da presença de radão.

Todos aqueles fatores devem ser, evidentemente, tidos em conta na fase do projeto do edifício.

Embora se possa estimar que o custo de implementação de medidas de prevenção ao radão num edifício novo, possa variar entre cerca de 0,2 % a 0,5 % do custo global da obra, julga-se ser contraproducente avançar com estimativas do custo deste tipo de obras, sem dispor de uma amostra significativa a nível nacional do custo de obras já realizadas com cada uma das técnicas mencionadas. De facto, a variabilidade dos custos pode ser de tal forma significativa que qualquer tentativa de esboçar essas estimativas teria não só pouca utilidade como poderia dar indicações erradas para os principais intervenientes no processo (dono-de-obra, projetista e construtor), ou mesmo para as entidades públicas que possam vir a avaliar as medidas de prevenção propostas.

Essa variabilidade está bem patente na bibliografia disponível sobre o assunto, tendo-se mencionado, a título indicativo, alguns valores no guia para mitigação da admissão de radão para o interior de edifícios existentes (Real, Lopes, Viegas; 2020).

6 | Conclusões

Nos capítulos anteriores apresentaram-se fundamentalmente as principais soluções para evitar, ou pelo menos mitigar, a presença de radão no interior de edifícios novos. O tipo de sistema a implementar depende fundamentalmente das características do terreno e do nível de radioatividade existente na zona de construção.

Assim, para prevenção da admissão de radão em edifícios novos, apresentaram-se as seguintes soluções:

- Colocação sobre o terreno devidamente regularizado de membranas contra o radão (proteção básica);
- Instalação de um sistema de despressurização do terreno sob as membranas contra o radão (proteção mais eficaz);
- Ventilação natural ou mecânica, especialmente de caves, como solução complementar às anteriores;
- Aproveitamento de sistemas de drenagem, sempre que possível, para encaminhamento do gás radão, como medida complementar ou sinérgica às apresentadas, nomeadamente funcionando em conjunto com os sistemas de despressurização do terreno.

Embora os sistemas de ventilação ativos sejam mais eficazes do que os sistemas passivos, pode-se optar por instalar um sistema passivo e, posteriormente, caso se venha a mostrar necessário, converter o mesmo em sistema ativo mediante a instalação de um ventilador na conduta de exaustão.

A instalação de sistemas de ventilação natural no edifício, de forma a garantir o arejamento e a qualidade do ar interior, deve ser sempre prevista, conforme aliás exige a regulamentação de térmica.

Relativamente aos custos de cada uma das soluções propostas, é bastante arriscado apresentar valores, mesmo que indicativos, associados apenas a essas soluções, dada a variedade de fatores que os podem influenciar. Assim, sugere-se que seja criada uma base de dados com os custos aproximados que se vão apresentando no mercado nacional, nomeadamente através dos orçamentos apresentados pelos projetistas às entidades licenciadoras (ou à APA) que contemplem os da prevenção da presença de radão no interior dos edifícios, procurando-se que os custos diretamente afetos a estas últimas sejam convenientemente discriminados ou fracionados.

Lisboa, LNEC, dezembro de 2020

VISTOS

O Diretor do Centro de Instrumentação
Científica

João Carlos Viegas

O Chefe do Núcleo de Acústica, Iluminação,
Componentes e Instalações

Jorge Viçoso Patrício

O Diretor do Departamento de Edifícios

Jorge M. Grandão Lopes

AUTORIA

Luís Pimentel Real

Investigador Auxiliar

Jorge M. Grandão Lopes

Investigador Principal

João Carlos Viegas

Investigador Principal com Habilitação

Referências bibliográficas

- BRITISH BOARD OF AGREEMENT (BBA), 2017 – **Radbar gas membrane**. Garston, 2017. Agrément Certificate n° 96/3267. Product Sheet 2.
- CE, 2013 – **Diretiva 2013/59** / Euratom, de 5 de dezembro de 2013, Jornal Oficial da União Europeia, vol. 57, L13, p. 1-73, janeiro de 2014.
- CEN, 2017 – **Flexible sheets for waterproofing - Plastic and rubber damp proof sheets including plastic and rubber basement tanking sheet - Definitions and characteristics**. Brussels: CEN. EN 13967:2012+A1:2017.
- DANOSA, 2020 – **POLYDAN 180-40 P POL**. Fontanar, 2021. Ficha técnica (<https://portal.danosa.com/danosa/CMSServlet?node=141404>). Consultado em 28 de dezembro de 2020.
- DECRETO-LEI n.º 108/2018 – **Estabelece o regime jurídico da proteção radiológica**. Diário da República n.º 232/2018, Série I de 2018-12-03, pp 5490 – 5543.
- EPA, 2012 – **A Citizen’s Guide to Radon. The Guide to Protecting Yourself and Your Family from Radon**. EPA 402/K-12/002|2016. United States Environmental Protection Agency (EPA), Indoor Environments Division. EP 402/K-12/002. May 2012. 16 pp.
- EPA, 2013 – **Consumer’s Guide to Radon Reduction. How to Fix Your Home**. United States Environmental Protection Agency (EPA), Indoor Environments Division. EPA 402/K-10/005. March 2013.
- GWYNNE, 2013 – **Guide to Building Control: For Domestic Buildings**. John Wiley & Sons. February 2013. 328 pp. ISBN 9781118507766.
- IPQ, 2008 – **Membranas de impermeabilização flexíveis. Membranas betuminosas usadas contra a ascensão capilar de água do terreno. Definições e características**. Caparica, IPQ. NP EN 13969:2008.
- IPQ, 2009 – **Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás - parte 2: edifícios de habitação - ventilação mecânica centralizada (VMC) de fluxo simples**. Caparica: IPQ. NP 1037-2:2009.
- IPQ, 2015 – **Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás; Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural**. Caparica: IPQ. NP 1037-1: 2015.
- ISO, 2017 – **Measurement of radioactivity in the environment — Air: radon 222 — Part 13: Determination of the diffusion coefficient in waterproof materials: membrane two-side activity concentration test method**. Zurique: ISO. ISO/TS 11665-13: 2017.
- JIRÁNEK, Martin; HŮLKA, Jiří, 2000 – **Radon diffusion coefficient in radon-proof membranes – Determination and applicability for the design of radon barriers**, in International Journal on Architectural Science, Volume 1, Number 4, p.149-155, 2000.
- JIRÁNEK, Martin, s/d – **Testing and design of radon resisting membranes based on the experience of Czeck Republic**. Praha. Czeck Technical University, Faculty of Civil Engineering.

- JUTA, 2020 – **JUNIFOL**. <https://www.juta-geosynthetics.com/testing/waterproofing-membranes-and-anti-radon-barriers>. Consultado em 28 de dezembro de 2020).
- MADRUGA; *et al*, 2019 – **Radiation Exposure from Natural Radionuclides in Building Materials**. Radiation Protection Dosimetry (2019), Vol. 185, No. 1, pp. 57–65, doi:10.1093/rpd/ncy256.
- NASAI, 2009 - **Necoflex RAM™ – Radon, Air and Moisture Protection System**. Dublin, 2009. Certificate nº 09/0328.
- NECOFLEX LIMITED, 2014 – **Monarflex. Reflex Super. Gas protection systems**. Dublin, 2014. Product Information Sheet, Issue 01.
- RAMADAN, K. A.; UBEID, K. F., 2018 – **Measurement of Radon Exhalation Rates from Different Rock Types and Construction Materials (Gaza Strip, Palestine)**. Yerbilimleri (Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University), 39 (3), pp. 195-206, 2018.
- REAL, Luís; LOPES, J. Grandão; VIEGAS, João, 2020 – **Técnicas de Mitigação de Admissão de Radão em Edifícios**. LNEC - Proc. 0809/1201/22300. Relatório 479/2020 – DED/NAICI.
- SCIVYER, C. R.; JAGGS, M. P. R., 1998 – **A BRE guide to radon remedial measures in existing dwellings. Dwellings with cellars and basements**. 1998. BR 343. ISBN 186081 219 8.
- SCIVYER, C. R., 2013 – **BRE Good Repair. Guide GRG 37. Part 3 - Radon solutions in homes: Radon sump systems**. Bracknell, IHS BRE Press, 2013. ISBN 978-1-84806-302-0.
- SCIVYER, C. R., 2015a – **Radon protection for new domestic extensions and conservatories with solid concrete ground floors**. Good Building Guide, GG 73. BRE. January 2015. IHS BRE Press, Garston, Watford. ISBN 978-1-84806-405-8.
- SCIVYER, C. R., 2015b – **Radon protection for new dwellings**. Good Building Guide, GG 74. BRE. January 2015. IHS BRE Press, Garston, Watford. ISBN 978-1-84806-406-5.
- SCIVYER, C. R., 2015c – **Radon protection for new large buildings**. Good Building Guide, GG 75. BRE. January 2015. IHS BRE Press, Garston, Watford. ISBN 978-1-84806-407-2.
- VETROASFASSTO, s/d – **Viapol Techno Sphera. APP Elastoplastomeric membrane**. Basiano (MI). Data Sheet.
- VISQUEEN, 2018 – Radon membrane. Derbyshire, 2018. Technical Support: 0333 202 6800.
- WSSC, 2019 – **Pipeline Design Manual, Pipelines Crossing Contaminated Areas, Common Design Guidelines**. Part Three, Section 24. Washington Suburban Sanitary Commission (WSSC), June 2019 (draft).
- ZEEB, H.; SHANNOUN, F., 2009 – **WHO Handbook on Indoor Radon. A Public Health Perspective**. World Health Organization, 2009, 94 pp. ISBN 978 92 4 154767 3.

Agradecimentos

Agradece-se ao Sr. Óscar Silva, da firma RadãoStop (PT), a cedência da figura 4.7.

Agradece-se à firma Visqueen (UK) a permissão de reprodução de algumas imagens designadamente as figuras 4.1, 4.2, 4.4 e 4.5.

Agradece-se ao British Research Establishment (BRE, UK) e à Editora IHS Markit a permissão de reprodução da Figura 4.3.