

o radão nos edifícios - minimização da perigosidade

miguel jorge monteiro
de magalhães ferreira

engenheiro civil – mestre assistente, faculdade de ciências
e tecnologia, universidade fernando pessoa

miguelf@ufp.pt

manuel joaquim pinto coelho

licenciado em engenharia civil e em arquitectura
e urbanismo pela universidade fernando pessoa

pcreal@mail.telepac.pt

RESUMO:

A emanção do radão para o interior dos edifícios e a sua posterior decomposição provocam grandes riscos para a saúde das pessoas, especialmente o cancro do pulmão. Neste artigo explica-se o processo de decomposição do radão, como são atingidas as elevadas concentrações deste gás nos edifícios e finalmente fazem-se algumas recomendações para resolver este problema. O uso de um sistema de ventilação eficiente, combinado com outras técnicas, permite reduzir os elevados níveis de radão nos edifícios.

PALAVRAS-CHAVE: radão, cancro do pulmão, edifícios, ventilação.

ABSTRACT:

The radon's emanation to our building's interior and it's decomposition causes great danger to men's health, specifically the lung's cancer. This article explains the process of decomposition of radon, indicates why there are high concentrations of this gas in buildings and finally makes some recommendations which help fighting this problem. In order to avoid this situation, we need to implement an efficient ventilation system among some other technics.

KEYWORDS: radon, lung's cancer, buildings, ventilation.

1. Enquadramento do problema

Um elevado teor de *radão* afecta a qualidade do ar interior dos edifícios e vários autores referem-no (Darby et al cit. in Pereira, A.; Recomendação 90/143/EURO-TOM; Rannou, A., 1986 cit. in Teixeira, M. & Faisca M., 1993) como o principal causador de numerosas neoplasias pulmonares que provocam cerca de 10% do total da mortalidade por cancro do pulmão (Neves, L. & Pereira A.).

Em Portugal desconhece-se a incidência da mortalidade por cancro do pulmão devida ao *radão*, mas esta não se deve afastar muito da observada noutros países com litologias geológicas semelhantes; estimando-se que ocorram 20 000 mortes por ano nos Estados Unidos da América (EPA, 2001, p. 13), cerca de 2 000 em França (CSTB-Recherche, 2001, nº 48) e 150 a 200 na República da Irlanda (Radiological Protection Institute of Ireland, *Understanding Radon Remediation. A Householder's Guide*, p. 5).

Estes números são por si só preocupantes e podemos evitar este tipo de morbilidade pois existe tecnologia comprovadamente eficaz para a redução dos níveis de *radão* no interior dos edifícios e os custos da sua aplicação são perfeitamente razoáveis dados os benefícios traduzidos em termos de saúde pública.

Como o *radão* é um poluente com elevada perigosidade quando atinge uma concentração no interior dos edifícios superior determinado limite, a recomendação 90/143/EURATOM fixa esse limite em 200 Bq/m³ para as novas construções e em 400 Bq/m³ para as existentes. Em face do risco existente torna-se necessário desenvolver metodologias que permitam manter os níveis dentro de valores considerados seguros para que os seus ocupantes não sejam sujeitos a doses efectivas de exposição às radiações ionizantes superiores aos valores de segurança. Não se trata aqui de quantificar uma exposição elevada e pontual, mas de valores para uma exposição continuada que traduzam a dose efectiva acumulada permitida para cada indivíduo num dado período de tempo sem riscos significativos para a saúde.

No estudo das soluções para reduzir a contaminação radioactiva provocada pelo *radão* no interior das habitações é de grande importância compreender:

- Os fenómenos físicos da transformação atómica do urânio [²³⁸U] até ao *radão* [²²²Rn] e dos seus descendentes até se transformar em chumbo [²⁰⁶Pb];
- A distribuição mineralógica destes elementos radioactivos nas litologias geológicas e os fenómenos de mineralização secundária responsáveis pelas elevadas concentrações que se verificam em alguns locais das estruturas dos maciços graníticos ou das zonas de contacto com rochas sedimentares em que ocorrem estas mineralizações;
- Os processos de emanação, de migração, de difusão do *radão* no solo e deste para a atmosfera e para o interior dos edifícios;
- A influência do clima (temperatura, vento e chuva) nos processos de emanação, de migração e de difusão do *radão* para o interior dos edifícios;

- A influência do tipo de arquitectura dos edifícios, da sua relação com o solo e dos sistemas construtivos utilizados, nas taxas de concentração observadas no interior;
- A relação entre os sistemas de ventilação, taxas de renovação do ar e as concentrações de radão verificadas no interior dos edifícios;
- A relação entre a radiação externa natural, a estrutura geológica, a concentração de radão no solo e as taxas de radão no interior dos edifícios.
- A eficiência das barreiras anti-radão combinadas com os vários sistemas de ventilação.

Compreendidos os processos de formação, de emissão e de difusão do radão em função da estrutura geológica do solo, da influência do desenho arquitectónico do edifício, da sua relação com o terreno e dos processos que levam à concentração deste gás no seu interior podemos determinar as condicionantes urbanísticas à construção dos edifícios, o tipo de arquitectura e a tipologia construtiva a utilizar, bem como as técnicas que permitam minimizar a migração do radão para o seu interior de modo a manter as concentrações de radão dentro de limites seguros.

2. Radioactividade natural

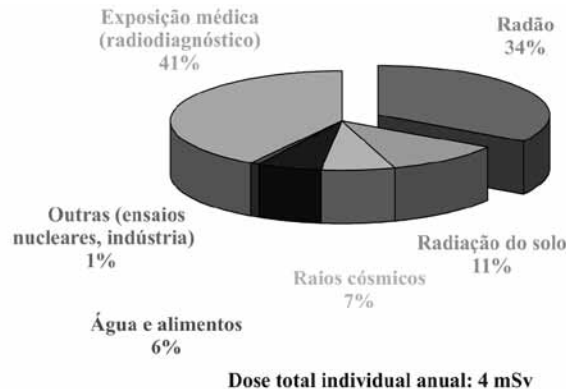
A radioactividade natural resulta da transformação atómica que ocorre nos núcleos da matéria do Universo e que nos chega através dos raios cósmicos proveniente do espaço exterior e também do decaimento dos radionuclídeos existentes nas rochas da crosta terrestre como o urânio [^{238}U], o tório [^{234}Th] e o potássio [^{40}K] que se vão transformando e dão origem a isótopos radioactivos com a emissão de partículas α (alfa) e β (beta) e que no conjunto representa cerca de 80% da dose média anual de radiação a que todos estamos expostos (Figuras nºs 1 e 2).

FIGURA 1. FONTES DE RADIOACTIVIDADE NATURAL (AMÉON, R. & BRENOT, J., 2004, TRADUÇÃO DO FRANCÊS)



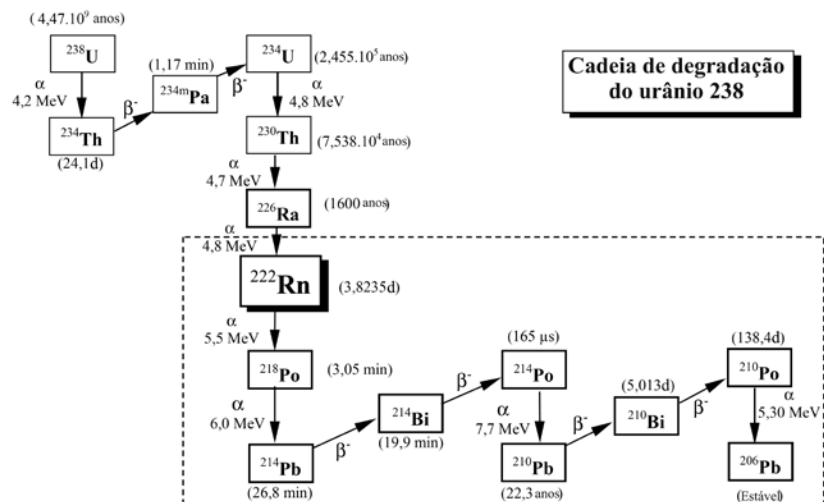
A fonte terrestre mais importante e que contribui com cerca de 50% do total advém da exposição ao gás radioactivo *radão* [^{222}Rn] que é emanado a partir das rochas ígneas (principalmente Granitos) e algumas rochas sedimentares (Argilitos). Este gás tem origem no processo de decaimento do Urânio (^{238}U), que sucessivamente se vai transformando e dá origem a diversos isótopos radioactivos até chegar ao Rádío (^{226}Ra) que por sua vez se transforma em Radão (^{222}Rn). Neste processo dá-se a libertação de partículas α (alfa) e β (beta) possuidoras de elevada energia cinética.

FIGURA 2. DISTRIBUIÇÃO DAS FONTES DE RADIAÇÃO (AMÉON, R. & BRENOT, J., 2004, TRADUÇÃO DO FRANCÊS)



O período de vida do Radão é de 3,825 dias, tempo suficiente para que este possa migrar das rochas onde se forma para a atmosfera e aí permanecer, constituindo o isótopo radioactivo mais representativo. Trata-se de um gás inodoro, insípido, incolor e pouco reactivo pelo que os seus efeitos não são significativos. O mesmo já não acontece com os produtos que dele descendem como o Polónio ($^{218,214,210}\text{Po}$), o Chumbo ($^{214,210}\text{Pb}$) e o Bismuto ($^{214,210}\text{Bi}$), até se transformarem em Chumbo (^{206}Pb) cuja estrutura atómica é estável (Figura nº 3).

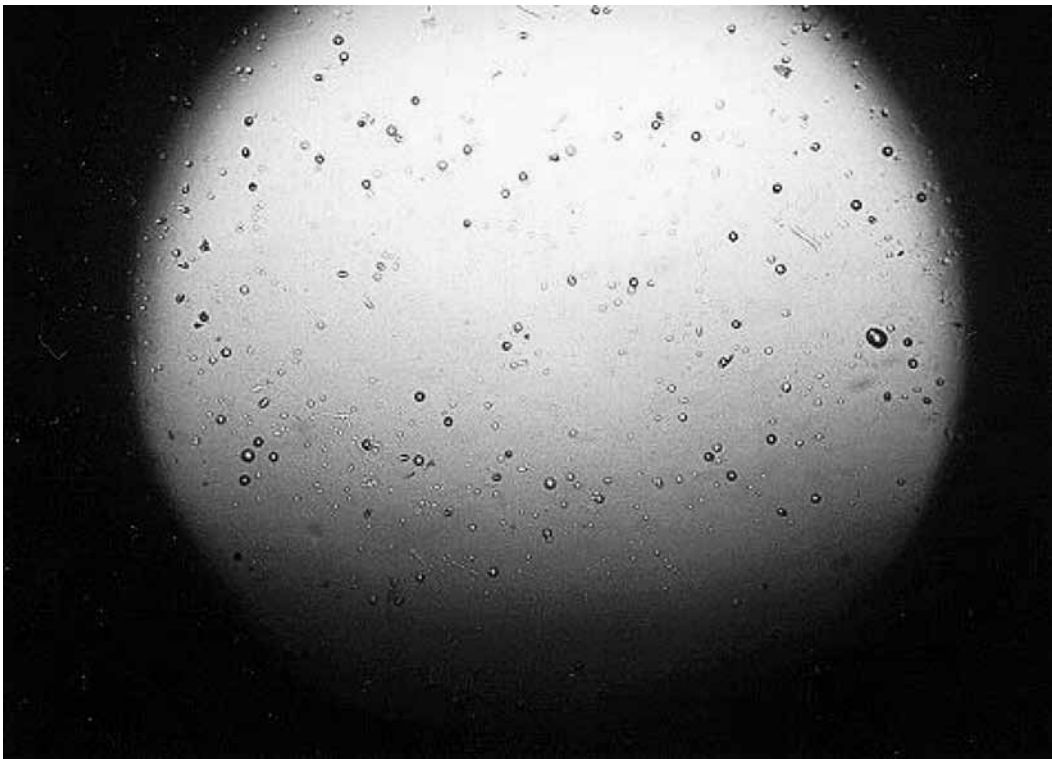
FIGURA 3. CADEIA DE DECAIMENTO DO ^{238}U (AMÉON, R. & BRENOT, J., 2004, TRADUÇÃO DO FRANCÊS)



3. Efeitos da exposição às radiações ionizantes

A radioactividade advém da transformação natural e espontânea de isótopos instáveis com emissão de radiação α (alfa) e β (beta) em isótopos de elementos químicos diferentes. A radiação α (alfa) devido à sua elevada massa interage facilmente com a matéria (Figura nº 4), desloca-se no ar apenas alguns centímetros e pode ser detida por uma simples folha de papel. A radiação β (beta) com alcance no ar de alguns metros pode ser detida por uma placa de madeira de reduzida espessura ou por uma fina placa de metal.

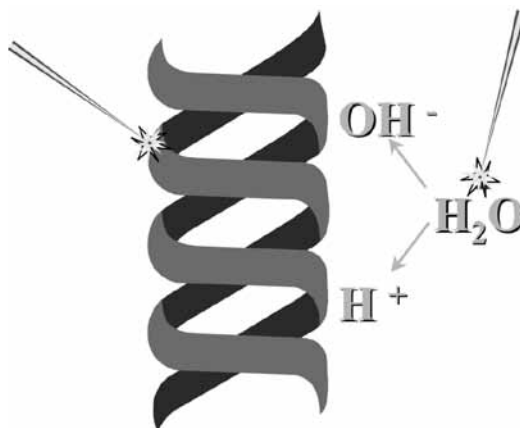
FIGURA 4. IMAGEM DO IMPACTO DAS PARTÍCULAS α SOBRE A MICRO PELÍCULA PLÁSTICA DO TESTE PASSIVO DE RADÃO (AMPLIADA 100 VEZES) COM TRÊS MESES DE EXPOSIÇÃO AO RADÃO COM UMA CONCENTRAÇÃO DE 4 PCI/LITRO (≈ 148 BQ/M³) (KLADDER, D., 2004, TRADUÇÃO DO INGLÊS)



A radiação ionizante é constituída pelas partículas libertadas nos processos de decaimento radioactivo e que ao interagirem com a matéria podem deslocar electrões das suas órbitas atómicas, transformando átomos sem carga eléctrica (neutros electricamente) em iões. A radiação α , β , γ , os raios-X e alguns neutrões possuem propriedades ionizantes. Segundo Neves, L. & Pereira A. a capacidade ionizante dessas partículas é proporcional à sua massa, pelo que a passagem de uma partícula γ através de um núcleo celular de 8 μ m produz ≈ 70 ionizações, enquanto uma partícula α provoca 23 000 ionizações (Neves, L. & Pereira A.).

A exposição dos seres vivos às radiações ionizantes provoca quebras nas cadeias do ADN do núcleo celular ou ainda efeitos indirectos por formação de radicais livres OH⁻ e H⁺ por ionização da água, principal constituinte celular, radicais esses altamente reactivos e que podem alterar as cadeias do ADN (Figura nº5).

FIGURA 5. EFEITOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES SOBRE O ADN (KLADDER, D., 2004)



Os danos causados a nível celular devido à exposição às radiações ionizantes podem ser observados pela perda das funções orgânicas ou pela morte celular. Segundo Betencourt (1998), citado in Neves, L. & Pereira A., as consequências dessa exposição são previsíveis e dependem da dose de radiação recebida, podendo registar-se em situações limite, alterações sanguíneas para doses efectivas da ordem dos 0,5 Sv e a morte imediata para doses superiores a 20 Sv (A dose efectiva de 1 Sv (Sievert) corresponde à absorção de 1 Joule de energia por cada Kg de material irradiado).

Como refere Neves, L. & Pereira A. a exposição a níveis reduzidos de radiação ionizante não origina efeitos visíveis imediatos, mas reflecte-se em alterações ao ADN, cujo efeito se irá manifestar numa data muito posterior à da exposição, sob a forma de doenças degenerativas, cancro ou à transmissão hereditária de malformações. É por isso impossível dizer, para cada indivíduo específico, como os efeitos se irão manifestar, sendo apenas possível estimar a taxa estatística de incidência em função da dose recebida, desde que o número de indivíduos estudados seja significativo.

4. Dose efectiva de exposição à radiação ionizante e saúde

Com base em estudos experimentais e epidemiológicos referidos por Neves, L. & Pereira A. alguns organismos internacionais de protecção radiológica como o ICRP (International Commission on Radiological Protection) e a IAEA (International Atomic Energy Agency) têm adoptado o modelo de dose-resposta de exposição à radiação ionizante que se designa por LNT (Linear No-Threshold). Isto significa que mesmo uma dose mínima de radiação tem capacidade de criar danos biológicos, pelo que não existe um limiar de segurança possível de ser adoptado. Os efeitos sobre a saúde verificáveis por incidência estatística são directamente proporcionais à dose recebida.

A fixação dos limites de exposição às radiações ionizantes transforma-se numa relação custo benefício, que tendo em consideração as suas realidades específicas,

revela a pouca atenção dada a este tipo de contaminação, explicada pelos diferentes valores adoptados nos diferentes países.

No que se refere ao radão a questão que se coloca é a sua proveniência natural e por esse facto não tem havido até agora uma vontade objectiva de reduzir os valores das concentrações dentro dos edifícios, por não haver uma relação directa causa efeito, já que as consequências para a saúde só se manifestam a muito longo prazo (frequentemente mais de 30 a 40 anos), a que se associa a falta de estatísticas credíveis sobre as causas da morbilidade ou da morte das pessoas exposta a doses elevadas. Por outro lado desconhecia-se até agora a relação entre as taxas de concentração de radão e as doses efectivas de radiação a que as pessoas estavam expostas e porque os hábitos de vida das populações sofreram grandes alterações (maior permanência em espaços fechados, aumento dos cuidados médicos, maior controle das causas de morte, assim como os próprios edifícios se tornaram mais estanques o que aumentou a exposição das pessoas, agravando o problema).

Para se ter uma ideia da gravidade da exposição ao radão dentro dos edifícios podemos analisar um exemplo referido por Roserens, G. (2004):

- Um casal de professores ensinou e habitou num edifício escolar durante 30 anos cuja concentração média de radão era de 2500 Bq/m^3 . A dose total efectiva acumulada de exposição às radiações ionizantes provocadas pela decomposição do radão foi de aproximadamente $1,5 \text{ Sv}$;
- Um trabalhador está exposto às radiações ionizantes no seu local de trabalho, que não pode ultrapassar 20 mSv/ano . Durante o mesmo período de 30 anos a dose total efectiva acumulada de exposição às radiações ionizantes é de $0,6 \text{ Sv}$.

Como podemos observar a dose efectiva recebida pelo casal de professores foi 250% superior ao do trabalhador e por esse motivo os riscos para a sua saúde serão proporcionais.

5. Influência da estrutura geológica nos níveis de radão no interior dos edifícios

A radiação ionizante emitida pelos solos e pelas rochas depende da sua constituição mineralógica e dos teores de urânio, tório e potássio que contêm. A capacidade de produção de radão está apenas dependente da concentração do urânio e dos seus descendentes instáveis, que é muito variável e depende da litologia da crosta terrestre. As litologias que em regra apresentam maiores concentrações de elementos radiogénicos, especialmente de urânio, são as rochas ígneas (granitos) e os estratos sedimentares xisto-argilosos.

A produção do gás radão está dependente da concentração e distribuição mineralógica do urânio nas rochas, factor que condiciona a proporção dos átomos de gás que se libertam da sua estrutura sólida. Apenas os átomos gerados nos limites das fases minerais ou nas microfissuras possuem capacidade para se libertarem, ficando

aprisionados os que são produzidos no interior da fase cristalina (quando as rochas não possuem fissuração ou degradação química o radão produzido fica aprisionado no interior da sua estrutura cristalina e como tem um período de decaimento de poucos dias acaba por não emanar para o exterior da rocha). A emissão do radão é também influenciada pelo teor de humidade nos vazios inter-cristalinos e pela granulometria dos materiais (maiores teores de humidade levam menores emissões e quanto maior a granulometria maior a emissão).

Depois de emitido, o radão movimenta-se no solo por difusão ou por convecção até à superfície, exalando-se para a atmosfera o gás que não sofreu o processo de decaimento. O processo de exalação da litosfera para a atmosfera é condicionado:

- Pela permeabilidade das rochas que depende da existência de poros interligados;
- Pela granulometria, textura e estrutura dos sedimentos; (granulometrias mais finas são mais impermeáveis, assim como as mais grosseiras são mais permeáveis);
- Pelo grau de fracturação e pela configuração geométrica das fendas;
- Pelo período do dia (é maior quando o sol está alto e menor ao fim do dia);
- Pelo teor de humidade do solo e pela variação da pressão atmosférica (a teores de humidade e pressões atmosféricas altos correspondem baixas emissões e vice-versa).

6. Distribuição das estruturas geológicas que contribuem para doses elevadas de radão

As litologias que possuem teores de urânio e tório superiores às médias verificadas na crosta terrestre são os granitos e os materiais xisto-argilosos, contudo nestes últimos, a reduzida permeabilidade impede a mobilidade do radão por eles produzidos, deixando por esse motivo de constituir fontes importantes de radão. Deste grupo, apenas as rochas graníticas constituem fontes importantes de radão, por possuírem teores mais elevados de urânio e de tório do que a média das rochas da crosta terrestre e ainda pela ocorrência de mineralizações secundárias suportadas em caixas de falha e filões ou disseminadas superficialmente com teores anómalos de minerais radiogénicos.

Na região das Beiras o granito de S. Pedro do Sul possui teores médios de tório superiores a 120 ppm sendo por isso a dose de radiação externa tripla da média dos granitos e seis vezes superior à média da crosta terrestre, mas apesar disso não representa um risco acrescido no que respeita ao radão pois o teor de urânio é semelhante aos valores comuns (8 a 12 ppm) e o potencial de produção de radão é condicionado pelo teor de urânio e não pelo teor de tório.

Sabe-se que os valores da concentração de radão na fase gasosa do solo (a cerca de 80 centímetros de profundidade) constituem um bom indicador do potencial da

transmissão para as habitações e que algumas rochas possuem um potencial de emissão superior ao esperado tendo por base o seu teor de urânio. Como refere Pereira e al (1999) cit. in Neves, L. & Pereira, A., esta ocorrência pode explicar-se pelo facto do urânio se concentrar no limite externo das mineralizações e em microfissuras. Nas rochas com permeabilidade e fissuração média as concentrações de radão na fase gasosa do solo acima de 50 000 Bq/m³ obrigam ao uso de técnicas anti-radão para se garantirem concentrações no interior dos edifícios abaixo de 200 Bq/m³.

Nestes casos a proximidade da superfície, o grau de fracturação do maciço e as concentrações muito elevadas de urânio, transformam estas rochas em fontes importantes de emissão de radão, o que, associado à elevada radioactividade externa contribui para aumentar o impacto negativo sobre o ambiente.

O granito porfiróide das Beiras caracteriza-se por ter sofrido um processo de mineralização secundária e que segundo Rodrigues (2003) cit. in Neves, L. & Pereira A., é responsável pela existência das 8000 anomalias radiométricas cadastradas pela Junta da Energia Nuclear. Em alguns destes locais radiometricamente anómalos fez-se a exploração de importantes quantidades de urânio (4000 toneladas de óxido de urânio, desde 1951 a 2000).

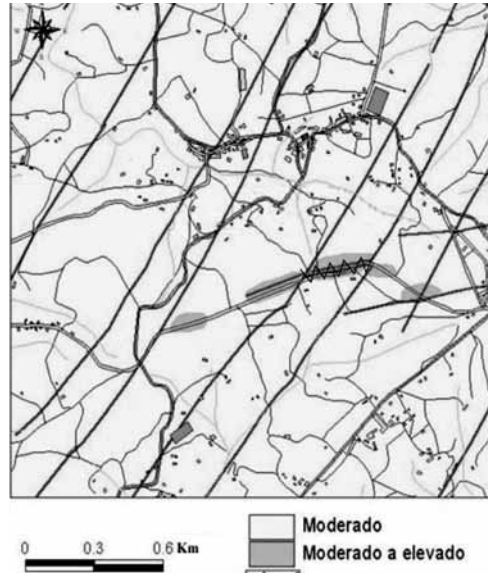
Também se verificou um fenómeno mineralizante no Alto Alentejo na região de Nisa em rochas metassedimentares (rochas que sofreram metamorfismo parcial) de auréola de metamorfismo de contacto (a intrusão de rochas ígneas em estruturas de rochas sedimentares acontecem ao longo das épocas geológicas e são em regra processo que envolvem grande quantidade de energia, temperatura e pressões muito elevadas. Estas ocorrências introduzem importantes alterações na estrutura e composição das rochas em contacto, podendo ocorrer processos de mineralização com enriquecimento dos teores de alguns minerais, dando origem a jazigos cuja exploração é economicamente viável).

As reservas disponíveis foram estimadas em 4000 toneladas de óxido de urânio não sendo economicamente viável a sua exploração, devido às baixas cotações internacionais dos concentrados de urânio. Como refere Campos (2002) cit. in Neves, L. & Pereira A. esta mineralização é superficial (estende-se até 30 metros de profundidade) o que provoca, numa área de 32,5 hectares, um dos valores mais elevados de emissão gama de todo o planeta terra.

As anomalias radiométricas destas regiões estão relacionadas com falhas em cujas caixas se concentraram mineralizações de urânio, especialmente nas Beiras cujas estruturas lineares se podem prolongar por alguns quilómetros, mas que apenas atingem em certos locais alguns metros de espessura, pelo que o risco que lhes está associado é localizado. Esta ocorrência pode afectar uma habitação sem contudo ter grande influência numa outra habitação próxima.

A cartografia das zonas radiometricamente anómalas seria de grande utilidade para as tarefas de planeamento territorial pois permitiria quantificar o risco associado às zonas com elevados potenciais de emissão de radão, contaminação por radioactividade natural dos recursos hídricos e alimentares, para que nos planos municipais de ordenamento se pudessem impor medidas de salvaguarda (Figura nº6).

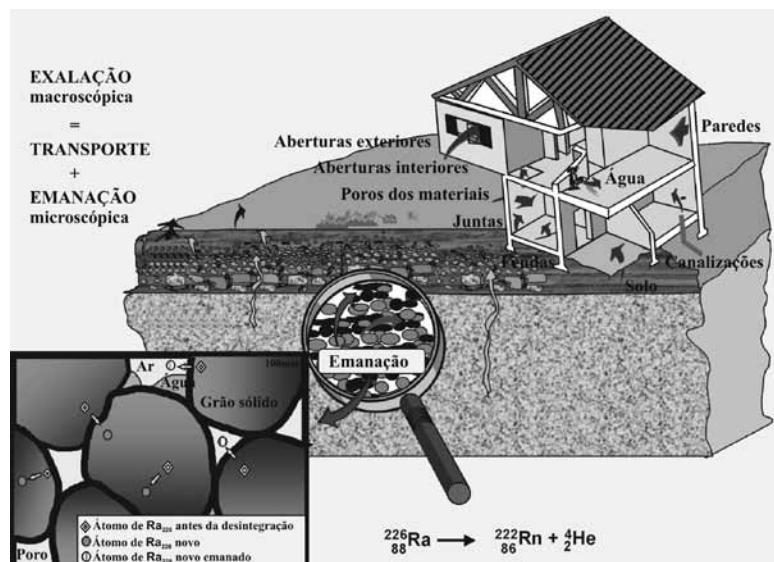
FIGURA 6. EXEMPLO DA CARTOGRAFIA DOS LOCAIS DE RISCO A INCLUIR NAS CONDICIONANTES DO PDM (A RADIOACTIVIDADE NATURAL)



7. Vias de penetração do radão nos edifícios

O radão migra do solo para o interior das habitações, através das fendas, juntas mal seladas e infra-estruturas de drenagem, devido ao estabelecimento de gradientes de pressão provocados pelos diferenciais de temperatura combinados com a exposição diferencial ao vento das fachadas ou aos sistemas de extracção de ar e tende a acumular-se nas zonas mais baixas (caves e pisos térreos) (Figura nº 7), pois é 8 vezes mais denso do que o ar. O nível de radão tende a diminuir significativamente a partir do segundo piso acima do R/C, igualando-se aos valores encontrados no ar atmosférico.

FIGURA 7. VIAS DE PENETRAÇÃO DO RADÃO NOS EDIFÍCIOS (ROBÉ, M., 2004, TRADUÇÃO DO FRANCÊS)

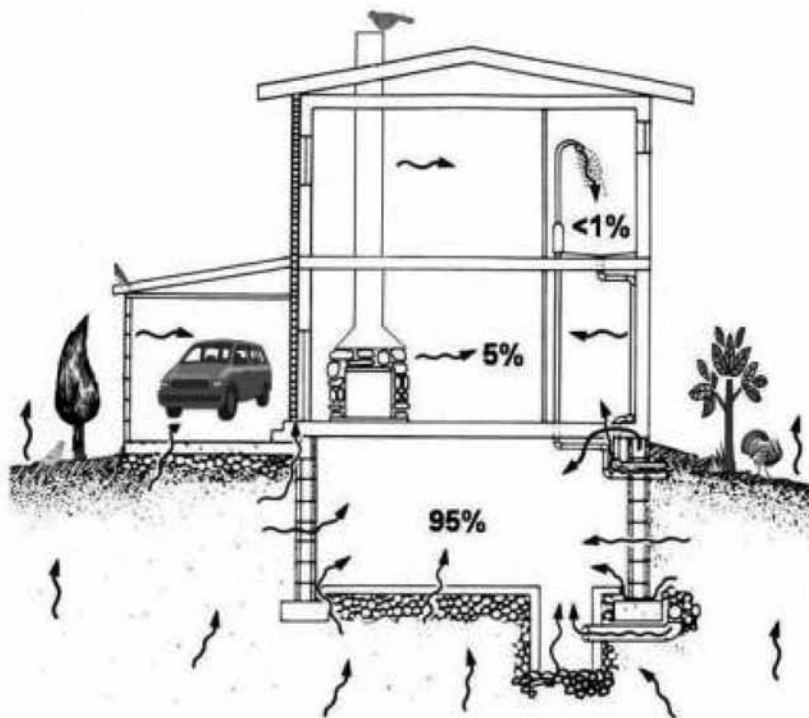


8. Contribuição das várias fontes para o nível de radão no interior dos edifícios

O radão no interior dos edifícios provém das emanações a partir do solo que contribui com cerca de 95%, dos materiais de construção que contribuem com cerca de 5% e da água consumida que contribui com menos de 1% (Figura nº 8). Como refere Pereira, A., em alguns casos estas comparticipações podem ser muito superiores se forem utilizados materiais de construção com elevados teores de urânio e águas subterrâneas provenientes de furos de captação ricas em radão.

Todos os esforços para reduzir as infiltrações de radão a partir do solo baseiam-se nas técnicas de ventilação activa ou passiva, principalmente no solo abaixo do piso térreo, no aumento da estanqueidade através da colocação de uma película de polietileno em volta dos muros e pavimento em contacto com o terreno, para criar uma barreira estanque ao gás, e no aumento da ventilação dos espaços de habitação (EPA, 2001).

FIGURA 8. CONTRIBUIÇÃO DAS DIVERSAS FONTES PARA O NÍVEL DE RADÃO NOS EDIFÍCIOS (PEREIRA A.)



9. Metodologias construtivas e estratégias de ventilação para reduzir os níveis de radão

Já anteriormente foram analisados os vários factores que condicionam a emanação, a migração, a exalação do radão a partir do solo, as formas como se infiltra nos edifícios, como se acumula e quais os danos que provoca na saúde humana.

As intervenções para minimizar os riscos, nos locais em que a geologia e a estrutura física do solo potenciam elevados teores de radão no interior dos edifícios, baseiam-se em dois princípios:

- No planeamento territorial ao nível do PDM, Planos de Urbanização e Planos de Pormenor, apoiados em cartas de risco, à escala 1/1000, com a delimitação das três zonas:
 - Locais de risco elevado a muito elevado - onde as condições de contaminação são muito importantes e as taxas de radão esperadas são muito elevadas;
 - Locais de risco moderado a elevado - onde as condições de contaminação radioactiva é significativa e as taxas de radão esperadas são significativas;
 - Locais de risco moderado – onde as condições de contaminação radioactiva são desprezáveis e as taxas de radão esperadas não constituem qualquer risco.
- Em estratégias de projecto, disposições construtivas e sistemas de ventilação que terão como objectivo a criação de condições no interior dos edifícios que permitam reduzir o risco de exposição ao radão, mantendo a concentração deste gás abaixo dos limites admissíveis. Estes objectivos serão conseguidos por redução das infiltrações de radão a partir do solo, melhorando as condições de ventilação por aspiração do espaço abaixo do piso térreo e nos compartimentos do edifício, principalmente naqueles em contacto com o solo.

Em todo este processo é necessário o empenho das autoridades sanitárias e municipais na cartografia das áreas com potencial de risco elevado para que as plantas de condicionantes sejam actualizadas e incorporadas nos documentos dos PDMs aprovados, para que todos os intervenientes no processo de aprovação e licenciamento municipal estejam na posse de informação relevante, condicionante da implantação dos novos edifícios, desde proprietários, técnicos municipais e arquitectos para que possam elaborar os seus projectos tendo em conta os princípios básicos a ter em conta para minimizar os efeitos nefastos para a saúde provocados pelas elevadas concentrações de radão observados em muitos edifícios construídos em Portugal.

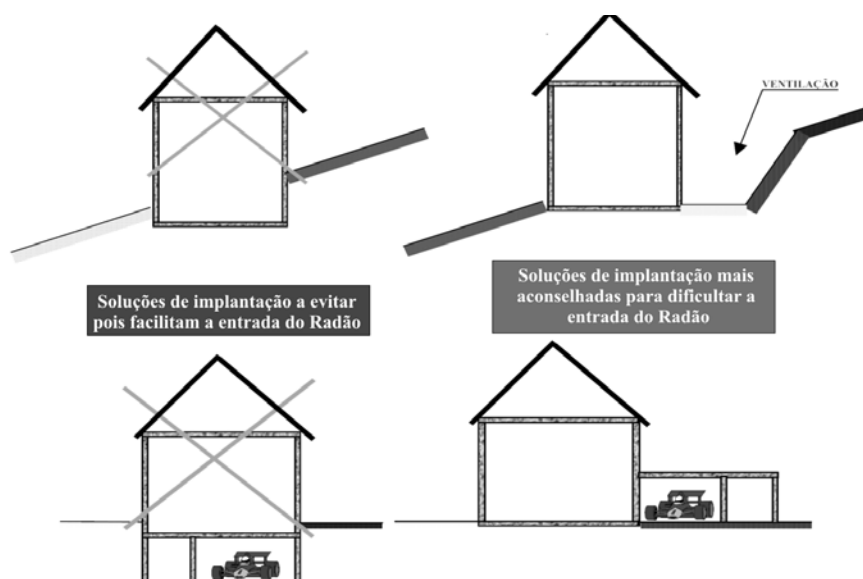
A actual situação observada em Portugal não é pior do que a de outros países tradicionalmente considerados mais evoluídos do que o nosso, pois alguns dos aspectos da qualidade do ar dos seus edifícios tem escapado às autoridades que só mais recentemente deram conta dos efeitos negativos da redução dos caudais de ventilação recomendados (Ferreira, M., 2004, e Coelho, M., 2005) e que resultam da actual tendência para a maior estanqueidade das envolventes por questões de conforto térmico (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, 1990), redução dos consumos energéticos (Norme R-2000, 2001) e também do conforto acústico (Regulamento Geral Sobre o Ruído, 2000) e Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, 2002).

10. Soluções construtivas e conselhos para projecto

10.1 Genralidades

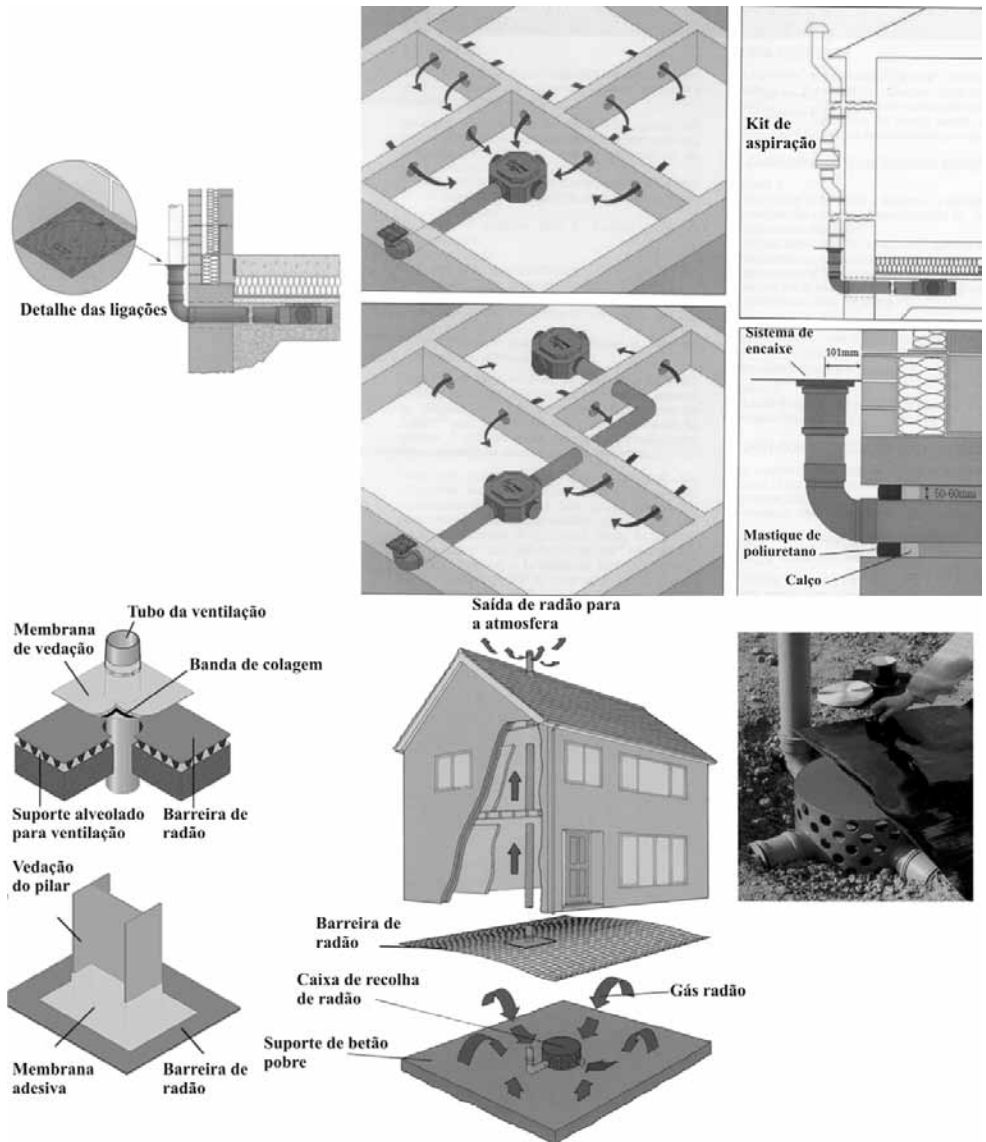
Como já foi explicado as concentrações esperadas de radão dentro dos edifícios dependem de vários factores entre os quais se destacam a relação do edifício com o solo e o potencial de emanção desse mesmo solo. Todas as soluções arquitectónicas e construtivas que reduzam o contacto do edifício com o solo, as que evitem as infiltrações do radão e as que facilitem a sua difusão para a atmosfera contribuem para reduzir o risco de se atingirem concentrações perigosas no seu interior. Na Figura nº 9 estão representados esquemas das soluções arquitectónicas e construtivas a evitar por facilitarem a entrada de radão nos edifícios e as que se recomendam para minorar a sua entrada.

FIGURA 9. PROPOSTAS DA RELAÇÃO EDIFÍCIO/TERRENO PARA REDUÇÃO DO NÍVEL DE RADÃO (COLLIGNAN, B., 2004, TRADUÇÃO DO FRANCÊS)



Na Figura nº 10 estão esquematizados os procedimentos de drenagem do radão entre o terreno e o piso térreo, através de caixas e tubagem perfurada. A passagem do gás através dos “radiers” de fundação faz-se pelos orifícios que ligam as várias zonas. As soluções esquematizadas na figura podem utilizar a depressão provocada pelo vento combinada com o movimento ascensional provocado pelas diferenças de temperatura entre o ar junto ao solo e o ar atmosférico ao nível da cobertura.

FIGURA 10. ESQUEMA DA DRENAGEM DE RADÃO A INSTALAR POR DEBAIXO DO PISO TÉRREO DE UM SISTEMA DE VENTILAÇÃO POR TIRAGEM NATURAL OU ATRAVÉS DE UM VENTILADOR PARA CRIAR A DEPRESSÃO NECESSÁRIA (COLLIGNAN, B., 2004, TRADUÇÃO DO FRANCÊS)



10.2 Reabilitação de edifícios - soluções construtivas para reduzir os níveis de radão

As recentes tendências que visam a reabilitação urbana e arquitectónica dos edifícios construídos nos centros das cidades em épocas passadas e que possuem elevado valor simbólico, patrimonial e prestígio reconhecidos por todos os cidadãos, procuram fazer voltar ao centro a habitação, os serviços e o comércio para além das funções cívicas, pelo que é de todo o interesse que os edifícios situados em zonas de risco de radão venham a ser reabilitados com a garantia da manutenção de baixas concentrações deste gás.

As técnicas disponíveis são de fácil aplicação, pelo que, regra geral, basta que o arquitecto que elabora o projecto tenha em conta alguns detalhes construtivos que

permitam melhorar as condições de ventilação do edifício e muito especialmente do espaço entre o piso térreo e o terreno e que seja colocada uma barreira impermeável ao radão nos muros e pisos em contacto com o solo para que não existam infiltrações de radão para o interior. Só em casos especiais de edifícios situados sobre locais com elevada emanção de radão se justificará o recurso a sistemas de ventilação activa (com o uso de ventilação mecânica) ou passiva (com o uso de ventilação natural) por aspiração entre o piso térreo e o solo.

O custo destas instalações, quando previstos em projecto, é bastante reduzido, sendo facilmente enquadrável no orçamento total da obra, com imensas vantagens em termos de saúde para os futuros utentes dos edifícios.

FIGURA 11. IMAGENS DE TRABALHOS PARA REDUÇÃO DO NÍVEL DE RADÃO COM RECURSO A ASPIRAÇÃO MECÂNICA POR DEBAIXO DO PISO EM CONTACTO COM O SOLO, REDUÇÃO OBTIDA E CUSTO DOS TRABALHOS SEGUNDO (RINGER, W., 2004, TRADUZIDO DO FRANCÊS)



Antes	540 Bq/m ³
Depois	250 Bq/m ³ (Passivo) 100 Bq/m ³ (Activo)
Custo	14 000 Euros
Encargos de redução específica (Euros/m ² .Bqm ⁻³)	0,24

FIGURA 12. IMAGEM DO SISTEMA VENTILAÇÃO NATURAL DO ESPAÇO ENTRE O PISO TÉRREO E O SOLO PARA EVACUAÇÃO DO RADÃO, REDUÇÃO OBTIDA E CUSTO DOS TRABALHOS SEGUNDO (RINGER, W., 2004, TRADUZIDO DO FRANCÊS)



Antes	490 Bq/m ³
Depois	250 Bq/m ³
Custo	400 Euros
Encargos de redução específica (Euros/m ² .Bqm ⁻³)	0,015

FIGURA 13. IMAGEM DA TUBAGEM EXTERIOR PROLONGADA ATÉ À COBERTURA DO EDIFÍCIO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO MECÂNICA POR ASPIRAÇÃO DO ESPAÇO ENTRE O PISO TÉRREO E O SOLO PARA EVACUAÇÃO DO RADÃO (RINGER, W., 2004)



FIGURA 14. PLANO PARA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE RADÃO NUM EDIFÍCIO ESCOLAR ATRAVÉS DA VENTILAÇÃO DO ESPAÇO ENTRE O PISO TÉRREO E O SOLO. NO GRÁFICO PODEMOS VER A REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE RADÃO EM FUNÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO UTILIZADO (ROSERENS G., 2004, TRADUZIDO DO FRANCÊS)

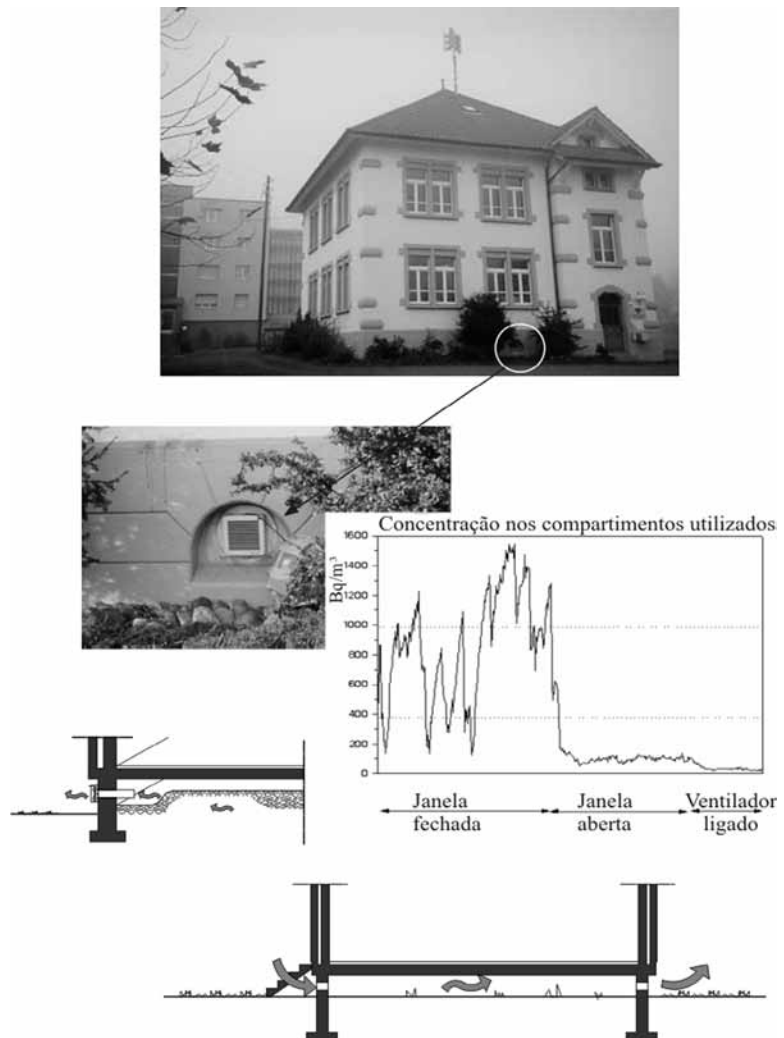


FIGURA 15. PLANO PARA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE RADÃO NUM EDIFÍCIO ESCOLAR ATRAVÉS DA VENTILAÇÃO MECÂNICA POR DEPRESSÃO DO ESPAÇO ENTRE O PISO TÉRREO E O SOLO (ROSERENS G., 2004)

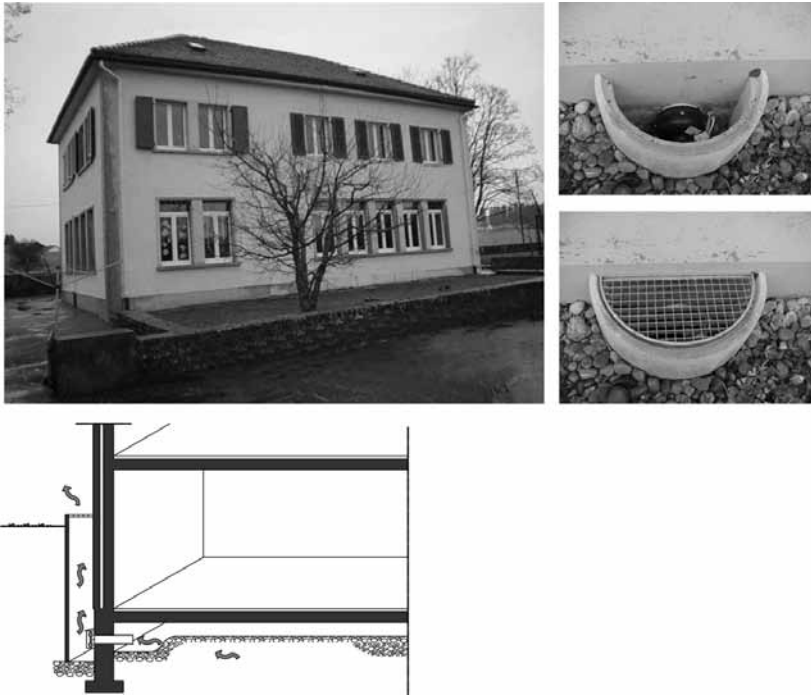
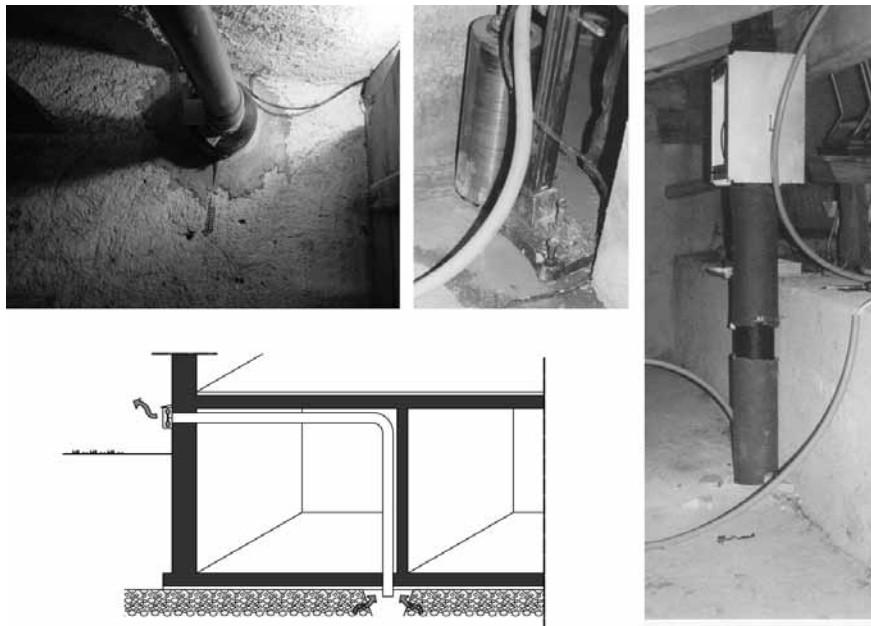


FIGURA 16. TRABALHOS PARA REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE RADÃO NUM EDIFÍCIO ATRAVÉS DA VENTILAÇÃO MECÂNICA POR DEPRESSÃO DO ESPAÇO ENTRE O PISO TÉRREO E O SOLO. O PISO TÉRREO ESTÁ A SER PERFURADO POR UMA MÁQUINA DE CAROTAGEM (ROSERENS G., 2004)



Nas Figuras n^os 17 e 18 são apresentadas soluções de ventilação do espaço da cave, respectivamente por sobrepressão ou depressão, através da utilização de ventiladores mecânicos.

FIGURA 17. REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE RADÃO NUM EDIFÍCIO ATRAVÉS DA VENTILAÇÃO MECÂNICA POR LIGEIRA SOBREPRESSÃO (0,2 A 1 PASCAL) (ROSERENS G., 2004)

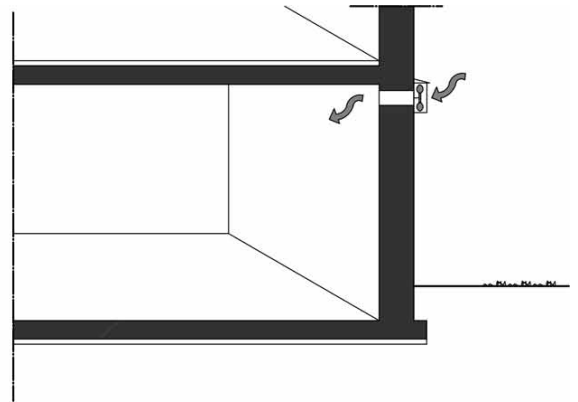
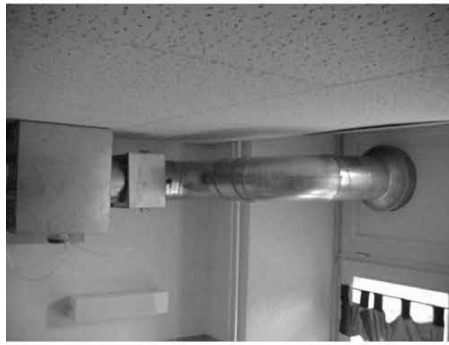
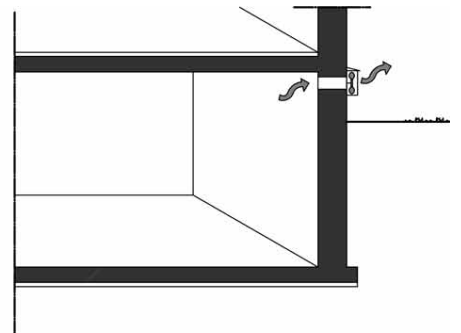
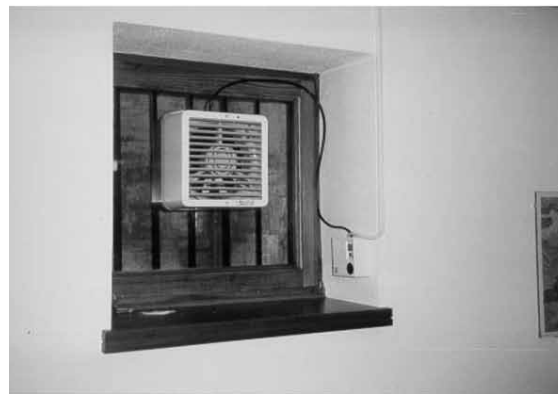


FIGURA 18. REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE RADÃO NUM EDIFÍCIO ATRAVÉS DA VENTILAÇÃO MECÂNICA POR DEPRESSÃO (ROSERENS G., 2004)



10.3 Novos edifícios - soluções construtivas para evitar os riscos do radão

As técnicas disponíveis para reduzir os riscos de emanção do radão para o interior dos edifícios a construir de novo são semelhantes às utilizadas na reabilitação dos edifícios existentes, mas como podem ser projectadas antes da execução das obras, tornam-se mais económicas e mais eficientes, devido ao melhor planeamento e à escolha da solução técnica mais adequada para cada situação concreta.

As figuras nºs 19 a 23 dão-nos uma ideia dos trabalhos que podem ser realizados para reduzir a entrada e a concentração de radão nos edifícios. Como pode observar-se combinam-se os vários meios disponíveis: Telas impermeáveis ao gás nas paredes e pavimentos em contacto com o solo, a recolha do radão por debaixo do piso térreo e a sua aspiração através ventilação mecânica para se obter a máximo de eficiência na sua redução.

FIGURA 19. TRABALHOS DE COLOCAÇÃO DE TELAS ANTI-RADÃO NAS PAREDES DA CAVE (PRONOST, J., 2004)



FIGURA 20. TRABALHOS DE COLOCAÇÃO DE TUBAGENS E CAIXA PARA DRENAGEM DO GÁS RADÃO ANTES DA COLOCAÇÃO DO PISO TÉRREO (PRONOST, J., 2004)

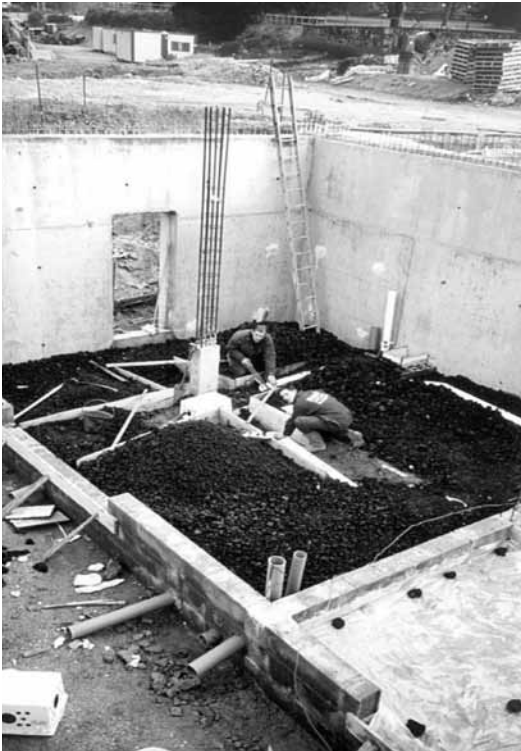


FIGURA 21. TRABALHOS DE COLOCAÇÃO DE TELAS ANTI-RADÃO NO PAVIMENTO EM CONTACTO COM O SOLO (PRONOST, J., 2004)



FIGURA 22. TUBAGEM DA REDE DE VENTILAÇÃO MECÂNICA COM DEPRESSÃO PARA REDUÇÃO RADÃO (PRONOST, J., 2004)



FIGURA 23. ASPECTO GERAL DA COLOCAÇÃO DAS TELAS ANTI-RADÃO, PELO INTERIOR, NO PAVIMENTO E NAS PAREDES DA CAVE (PRONOST, J., 2004)



11. Conclusões

Os arquitectos e urbanistas devem receber acções de formação, com disponibilização de documentação técnica que lhes permita adquirir conhecimento e sensibilidade, para poderem lidar com a problemática da contaminação por radão nos edifícios.

Compete aos arquitectos adoptar nos projectos as soluções arquitectónicas e tecno/construtivas que garantam baixas taxas de contaminação de radão no interior dos edifícios, salvaguardando deste modo a saúde dos seus ocupantes.

Regra geral, as soluções arquitectónicas e tecno/construtivas a adoptar não colidem nem com a criatividade do arquitecto, nem com a liberdade de projecto e não envolvem metodologias demasiado complexas, limitando-se, quase sempre, a alguns detalhes construtivos que facilmente se integram na pormenorização do projecto e a uma ou duas cláusulas a incluir na memória descritiva.

O custo da implementação destas soluções em obra é pouco significativo, trazendo contudo muitos benefícios aos utentes dos edifícios ao reduzir os riscos para a saúde.

Os urbanistas também têm um papel importante no processo de redução das concentrações de radão nos edifícios, pois intervêm no planeamento territorial, definindo na cartografia os locais de risco, propondo simultaneamente as condicionantes a impor para construção de novos edifícios ou na reabilitação dos existentes, assim como as medidas a implementar em cada caso face ao risco inventariado.

referências bibliográficas

- Améon, R. & Brenot, J. (2004). *Le Risc Lié à la Présence du Radon dans les Bâtiments*. I.R.S.N. - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucleaire. <http://kheops.champs.cstb.fr/Radon/Doc/2%20risque%20radonx.pdf>.
- A radioactividade natural*. <http://www.dct.uc.pt/gmsg/rn.html>
- Coelho, M. (2005). *A qualidade do ar ambiente dos edifícios*. Monografia de licenciatura em arquitectura e urbanismo, Porto, Universidade Fernando Pessoa.
- Collignan, B. (2004). *Le Radon dans les bâtiments; principes des solutions; Intégration dans les bâtiments neufs et existants*. C.S.T.B. – Centre Scientifique et Technique du Bâtiments. <http://kheops.champs.cstb.fr/Radon/Doc/1%20erricca2x.pdf>.
- CSTB-Recherche (2001). *Prévention des risques. Réduire les concentrations de radon dans les bâtiments*.
- EPA (2001). *Building Radon Out. A Step-by-Step Guide On How To Build Radon-Resistent Homes*. <http://www.epa.gov/radon/images/hmbuyguidsp.pdf>
- Ferreira, M. (2004). *Caudais de ventilação recomendados para edifícios residenciais*. Dissertação de Mestrado, Porto, FEUP.
- Neves, L. F. & Pereira A. C. *Radioactividade natural e ordenamento do território: o contributo das ciências da terra*. <http://www.dct.uc.pt/>

- Norme R2000 (2001). <http://oeenrcan.gc.ca/r-2000/francais/public/pdf/normeR2000.pdf>
- Pronost, J. (2004). *Procedés Anti Radon. Parad.* <http://kheops.champs.cstb.fr/Radon/doc/8%20pronost%20PARAD%20REMIATIONS%20presentation%20françaisVF%20V2.pdf>
- Pereira, A. *Radão.* http://www.faad.online.pt/pulsar_5.htm#Radão
- Radiological Protection Institute of Ireland (2004). *Understanding Radon Remediation. A Householder's Guide.*
- Recomendation 90/143/EURATOM. http://europa.eu.int/comm/energy/nuclear/radioprotection/doc/legislation/90143_fr.pdf
- Regulamento Geral Sobre o Ruído* (2000). D.L. n°292/2000 de 14 de Novembro.
- Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios* (2002). D.L n°129/2002 de 11 de Maio.
- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (1990). D.L n°40/90 de 06 de Fevereiro
- Ringer, W. (2004). *La Gestion du Radon dans les Bâtiments en Autriche.* Agence Autrichienne de Santé et de Sécurité des Aliments. <http://kheops.champs.cstb.fr/Radon/Doc/8%20radon%20en%20Autrichex.pdf>
- Robé, M. C. *Étude et traitement des situations impliquant du radon.* I.R.S.N. - Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucleaire. http://www.asn.gouv.fr/publications/dossiers/c153/art6_C153.pdf
- Roserens G. A. (2004). *Radon: 15 ans d'expérience; 150 assainissements.* <http://kheops.champs.cstb.fr/Radon/Doc/7%20radon%20en%20Suisse.pdf>
- Teixeira, M. M. R. & Faísca M. C. (1993). *Concentrações de Radão em Habitações a Nível nacional.* Lisboa, INETI/DSPSR-B-N°27, III Série.
- Kladder, D.L. (2004). *Radon: The Health Threat with a Simple Solution!.* National Environmental Research and Technology