

## **SOLUÇÕES ARQUITETÔNICAS PARA REDUZIR O ÍNDICE DE RADÔNIO: ESTUDO DE CASOS PARA ALGUNS AMBIENTES NO INTERIOR DE UM SHOPPING CENTER NO RIO DE JANEIRO**

**Marcelo, Virgínia C.C.(1); Motta, Ana Seroa(2); Castro, Oliveira (3); Oliveira, Domingos (4)**

(1) UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – [yccm@ct.ufrn.br](mailto:yccm@ct.ufrn.br)

(2) UFF- Universidade Federal Fluminense – [anaseroa@ism.com.br](mailto:anaseroa@ism.com.br)

(3) IME – Instituto Militar de Engenharia – [cacastro@melhoramentos.com.br](mailto:cacastro@melhoramentos.com.br)

(4) IEN – Instituto de Engenharia Nuclear – [domin@ien.gov.br](mailto:domin@ien.gov.br)

### **RESUMO**

Tendo em vista a preocupação com a qualidade do ambiente construído, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o índice de Radônio no interior de um shopping center. O Radônio é um gás natural, incolor e inodoro, proveniente de solo rico em urânio, presente também em alguns materiais de construção, que dependendo da sua concentração e do tempo de exposição poderá trazer problemas à saúde da pessoa exposta aos elevados índices do referido gás, inclusive o câncer de pulmão. O shopping escolhido para a pesquisa possui três pavimentos de lojas, com ventilação natural na circulação central, e dois pavimentos, no subsolo, para estacionamento, sem ventilação natural e pouca ventilação mecânica. As medições foram realizadas utilizando-se os métodos passivo e ativo. Os pontos de medições foram distribuídos em todos os andares do shopping center. Os resultados encontrados foram organizados em planilhas e analisados. Observou-se que os maiores resultados foram encontrados nos pavimentos que possuíam pouca ou nenhuma ventilação natural, os estacionamentos, e alguns ambientes com ventilação artificial, as lojas. Ao final, foram propostas algumas soluções arquitetônicas nos locais que apresentaram um índice elevado do gás Radônio. O presente trabalho serve como subsídios aos arquitetos e engenheiros na fase de projeto.

Palavras Chaves: Qualidade do ar, Radônio, Qualidade do ambiente construído, Conforto ambiental.

### **1.INTRODUÇÃO**

O crescimento urbano, as alterações climáticas e o consumo de energia estão inter-relacionados gerando um círculo de ações e reações que determinam, de certa forma, a qualidade do ar nos grandes centros, principalmente no interior das edificações.

As atividades humanas influenciam as emissões de gases responsáveis pelo crescimento do efeito estufa de forma muito fundamental, uma vez que as emissões desses gases dizem respeito à produção (geração de energia elétrica, refinarias, siderurgia), uso de combustíveis fósseis (indústria, transporte, residência), mudança de uso da terra (conversão de florestas em áreas agropecuárias, florestas, plantas), agricultura (criação de gado, produção de arroz) e outras atividades básicas da humanidade. Além dos supra citados, existe a poluição do ar proveniente da radiação de muitos materiais (Rio Doce, 1997). As emissões desses poluentes devem ser mantidos dentro de limites que possam ser compensados pelos mecanismos naturais de remoção da atmosfera.

O clima no nosso planeta tem sofrido alterações, ocasionadas pela crescente urbanização e pelo efeito antropogênico. A identificação de ilhas de calor nos grandes centros realça a importância do clima urbano na qualidade de vida da cidade, assim como, o reflexo direto das atividades desenvolvidas na cidade nas características do clima. A despreocupação com as fontes de energia, a princípio, consideradas inesgotáveis, aumenta o consumo de energia elétrica, associando o conceito de bem-estar e qualidade de vida à dependência direta de equipamentos elétricos que satisfaçam as necessidades humanas de conforto.

O projeto de arquitetura, muitas vezes, utiliza-se de equipamentos elétricos como ferramenta para resolver os problemas de conforto térmico, dentro da edificação, com alto consumo energético, desprezando, a princípio, qualquer tipo de solução com base no estudo dos fatores e elementos climáticos, bem com a utilização dos materiais adequados, o que acarretaria soluções criativas e com baixo consumo de energia.

O consumo de eletricidade no setor comercial brasileiro foi projetado a uma taxa média de 6,2% ao ano, entre 1996 a 2006. Sua evolução estará atrelada à intensificação do processo de expansão, fortalecimento e modernização do setor de comércio e dos serviços em geral, assim como ao processo de terceirização da economia, decorrência natural do atual estágio de desenvolvimento do setor industrial brasileiro. Nesse aspecto, o Brasil estará acompanhando a tendência mundial das economias desenvolvidas ou em fase avançada de desenvolvimento, nas quais o setor serviços passa a dominar a geração de riqueza. De fato, entre 1990 e 1995, este setor aumentou significativamente sua participação no PIB nacional, alcançando, neste último ano, o percentual de 52% (PROCEL, 1997).

Além de inaugurações e expansões frequentes de Shopping Centers, e da implantação de modernos centros comerciais, grandes supermercados e lojas de conveniências com alto padrão de consumo de eletricidade, o Brasil vem experimentando um processo de desenvolvimento da indústria do lazer, de entretenimento e de consolidação da indústria do turismo. Como exemplos, temos os diversos parques aquáticos e os chamados parques temáticos em construção no país, bem com alguns pólos turísticos em implantação, especialmente na região Nordeste.

Tendo em vista o exposto, o objetivo do presente trabalho é traçar um parâmetro entre a preocupação com o crescente consumo de energia em ambientes artificialmente climatizados e a qualidade interna do ar, tomando-se como base o setor comercial e a concentração de Radônio existente. Levando-se em consideração as condições climáticas do Rio de Janeiro, sugeriu-se soluções arquitetônicas que mantenham a concentração de Radônio no ar dentro dos limites aceitáveis pela EPA ( $148 \text{ bq/m}^3$ ).

## 2. RADÔNIO

O Radônio é um gás nobre, radioativo, inerte, sem cheiro ou cor, presente no ar, proveniente do Urânio encontrado no solo e na água. Ele pode penetrar na construção através das fundações e até mesmo emanar dos materiais empregados na construção. Os radioisótopos das séries naturais do Urânio (U-232) e do Tório (Th-232) estão entre os maiores contribuintes para a dose coletiva recebida pela população mundial. Estas contribuições são variáveis e dependem fortemente dos termos-fontes e dos costumes humanos. As doses por inalação de Radônio (série do U-238) e Torônio (série TH-232) dependem, por exemplo, da taxa de ventilação do ambiente considerado. Na verdade, os danos são causados pelos filhos do Radônio, por se tratarem de emissores alfa ( $\text{Po}^{218}$ ,  $\text{Po}^{214}$ ,  $\text{Po}^{216}$  e  $\text{Po}^{210}$ ), os quais agregados a partículas do ar podem se depositar no pulmão.

Os estudos relativos aos efeitos causados pelo Radônio foram intensificados com o aumento das mortes por doença do pulmão entre trabalhadores de minas, nos séculos XVII e XVIII. As primeiras medidas do Radônio no interior de ambientes foram realizadas em 1901, embora ainda não estivesse totalmente comprovada a ligação do Radônio com o câncer de pulmão. Na Suécia, em 1956, começou-se a medir o interior das casas, pois havia a preocupação com os altos índices de Radônio provenientes do solo e dos materiais de construção (Cardoso, 1997).

A crosta terrestre contém os nuclídeos radioativos U-238, Th-232 e U-235 de meia vida longa, os quais produzem por decaimento, isótopos do gás nobre Radônio. Esses isótopos são respectivamente o Rn-222 é o mais significativo do ponto de vista ambiental (Cardoso, 1997). O Rn-222 foi considerado nos estudos presentes.

Os produtos radioativos proveniente do decaimento do Radônio são quimicamente ativos e frequentemente carregados eletrostaticamente. Uma grande parte desses produtos de decaimento do Radônio são formados como íons positivamente carregados, resultado da retirada de elétrons orbitais pela partícula alfa emitida; a parte negativamente carregada dos produtos de decaimento é muito pequena (Cardoso, 1997).

Os produtos de decaimento recentemente formados reagem muito rapidamente com o oxigênio ou com traços de gases presentes na atmosfera e passam a ser transportados em pequenos aglomerados, com diâmetros que variam de 2 a 2<sup>o</sup> nm. Além de formar aglomerados, eles podem ser ligados a partículas de aerossóis existentes no ar, formando um aerossol radioativo. Os aerossóis agregados aos produtos de decaimento do Radônio passam a atuar conforme às propriedades físicas dos aerossóis presentes na atmosfera e não pelas propriedades do gás Radônio (Cardoso, 1997).

Radônio ao se difundir através do solo, emana para a atmosfera. Desta forma, existe um fluxo contínuo de átomos de Radônio vindo do solo em toda a crosta terrestre, que dependendo da concentração de U-238 no solo e da resistência que o solo oferece à sua difusão. Assim sendo, o solo é o maior contribuinte para a exposição ambiental por Radônio e seus produtos de decaimento radioativo (Amado, 1998).

A preocupação com a concentração do Radônio é maior no ambiente interno. No meio externo, o Radônio é diluído e aparece em baixa concentração. Entretanto, no interior de uma edificação, a concentração do Radônio está relacionada com os seguintes fatores: ventilação interna, materiais de construção utilizados, concentração subjacente no solo, temperatura e umidade do ar. Os materiais de construção tais como tijolos, cimento, cerâmicas, gesso e granito, que fabricados a partir de substâncias retiradas do solo, contribuem para aumentar a concentração de Radônio nos ambientes. Outra fonte é a água doméstica retirada de fontes subterrâneas que estão em contato com o solo que contém Urânio. O transporte do Radônio, nos materiais, pode ser feito por convecção ou difusão. Na difusão, o Radônio se move relativamente ao fluido nos poros internos do material. O fluxo difusivo depende da concentração de Radônio, da porosidade do material e da diferença de pressão arterial (Amado, 1998).

## **2.1. Radônio nas edificações**

Enumeras pesquisas vêm sendo desenvolvidas nos EUA e na Europa a respeito da concentração do Radônio no interior das residências e suas consequências para o ser humano.

De acordo com estudos constatou-se a presença de Radônio em materiais de revestimentos de forros e paredes.

Construções de casas experimentais também foram feitas para testar técnicas que dificultem a entrada do Radônio no interior das edificações no Norte Central da Flórida. Estas casas foram monitoradas e comprovou-se a redução dos níveis de Radônio (Rio Doce, 1997).

Soluções arquitetônicas e técnicas construtivas foram desenvolvidas para reduzir a concentração de Radônio no interior das construções. Dentre as principais soluções está a ventilação natural e mecânica. Pesquisas em residências, realizadas em 1992 nos Usa (Carvalho, 1992), constatou-se que com a simples abertura de duas janelas, proporcionando uma ventilação cruzada, pode-se diminuir consideravelmente a concentração de Radônio no interior de uma residência.

A EPA ( U.S. Enviroment Protection Agency) possui um conjunto de diretrizes, baseado em experiências realizadas em residências, adaptado para vários Estados indicando técnicas e soluções arquitetônicas para minimizar a concentração do Radônio (EPA, 1994). Nessas diretrizes existe um mapeamento dos Estados por áreas de concentração de Radônio, classificadas por Zona 1, Zona 2, etc. As construções localizadas em cada uma dessas áreas deve seguir esta metodologia construtiva e adotar determinadas técnicas em relação a concentração do Radônio. As diretrizes determinam cinco princípios básicos para a construção somente para residências unifamiliares:

As construções residenciais devem ser projetadas e construídas visando a baixa concentração de Radônio;

As construções residenciais devem ser projetadas e construídas prevendo instalações futuras de técnicas que visem diminuir a concentração do Radônio;

Instalação de sistema de ventilação mecânica;

Utilização de impermeabilizantes nas fundações em contato com o solo, muitas vezes fonte de emissão do Radônio;

Sistema de ventilação mecânica instalado nas fundações para a retirada do gás no subsolo;

## **2.2. Medições realizadas no Brasil**

Vários trabalhos de pesquisas vêm sendo desenvolvidos em conjunto com IEN ( Instituto de Engenharia Nuclear)/ CNEN ( Comissão Nacional de Energia Nuclear),IME Instituto Militar de Engenharia) e IRD (Instituto de Radiometria e Dosimetria)/ CNEN. A região de Poços de Caldas, em Minas Gerais, tem sido objeto de intensas pesquisas por se tratar de área de alta radioatividade natural, face a existência de depósitos de Urânio em mina aberta pela INB – Indústrias Nucleares do Brasil, localizada no Complexo Industrial de Poços de Caldas (CIPC) (Amado, 1998).

Foram realizados, recentemente, dois estudos sobre Radônio em Poços de Caldas.

O primeiro deles, foi efetivado ainda na década de 80, sendo objeto de um Acordo de Cooperação Técnica e Científica entre Brasil e Alemanha, firmado, em 1978, pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e a Karlsruhe Nuclear Research Center (KFK).

O segundo foi realizado pela pesquisadora brasileira Eliana C. da S. Amaral, que aprofundou os estudos, com o tema “Modificação da Exposição à radiação natural devido às atividades agrícolas e industriais numa área de radioatividade natural elevada no Brasil” (Amado, 1998).

Foram desenvolvidos trabalhos pelo SPR( Serviço de Proteção Radiológica) do IEN/CNEN na região de Lagoa Real, Estado da Bahia, parte oriental do Brasil. Os trabalhos foram realizados no período de maio de 1992 à maio de 1994, como um dos itens de um contrato de pesquisa firmado com a IAEA-Internacional Atomic Energy Agency e com o pesquisador Anthony Donald Binns, que atuou como coordenador para a América Latina do programa “Radon in the Human Environment “ (Amado, 1998).

No III Encontro Nacional de Aplicações Nucleares, realizado em Águas de Lindóia, São Paulo, em 1995, a equipe do SPR, do IEN/CNEN, divulgou os dados preliminares do trabalho que vinha desenvolvendo, inclusive para o Latin American Regional Radon Calibration Laboratory do Internacional Radon Metrology Programme (IRMP). O trabalho relata a aplicação dos detectores MAKROFOL em medições do Radônio no país (Amado, 1998).

Estudos do Radônio nas residências, em áreas agrícolas e em regiões de águas, na cidade de Monte Alegre no Estado do Pará foram também feitos pelo SPR do IEN/CNEN (Amado, 1998).

Outros estudos vêm sendo realizados, tais como a determinação da exalação do Radônio em diversas marcas de cimento e gesso comercialmente disponíveis no Estado do Rio de Janeiro. O assunto foi tema da dissertação de Ana Paula C. Rio Doce, desenvolvida no Mestrado de Energia Nuclear da COPPE/UFRJ, em 1997.

Com relação a concentração de Radônio em prédios públicos, quase nada existe com relação a cidade do Rio de Janeiro. É importante ressaltar que nas edificações públicas existem grandes concentrações de trabalhadores expostos por longos períodos a qualidade do ar existente que leva a necessidade de dose ocupacional.

## **2.3. Métodos de Detecção**

Vários métodos são utilizados para a detecção do Radônio, Torônio e de seus produtos de decaimento radioativo, RaA ( $^{218}\text{Po}$ ), RaB( $^{214}\text{Pb}$ ), RaC( $^{214}\text{Bi}$ ), e estudos de novos testes estão sendo desenvolvidos, com a finalidade de obter resultados que determinem a concentração do Radônio e seus produtos de decaimento, tendo-se em vista as dificuldades encontradas e as diversidades existentes. Esses métodos são baseados, principalmente, na detecção de partículas alfa, embora existam outros com base na detecção de partículas beta e raios gama, que são emitidos com diferentes energias durante o decaimento radioativo dos átomos de Radônio e de seus filhos.

Os métodos utilizados para os levantamentos das concentrações do Radônio são divididos em dois grupos, passivo e ativo. Ambos os métodos foram utilizados no presente trabalho

No passivo, utilizamos os detetores sólidos de traços (TLDs). Esse método é integrador, com resultados dados pela média, com tempo de exposição entre 3 a 4 meses. O dosímetro dos valores captura o Radônio ou as partículas que decaem difusamente no ar. Supõe-se uma distribuição homogênea do Radônio e do Torônio.

No ativo existem diversas técnicas de detecção, onde a amostragem é feita por meios mecânicos, através da sucção mecânica. O método é baseado na retenção dos produtos de decaimento do Radônio ou do Torônio em um dispositivo. Pressupõe-se que os produtos de decaimento estão distribuídos de forma homogênea no ar e a retenção dos mesmos nos dispositivos é homogênea, ficando os particulados igualmente distribuídos na superfície (Cardoso, 1997).

As técnicas do método ativo utilizadas no presente trabalho foram : Técnica dos dois filtros, Técnica Tsivoglou, Técnica Kusnetz e espectrometria alfa. Essas técnicas se caracterizam pelas diferentes combinações do sistema de amostragem e de retenção dos produtos de decaimento. O ar atmosférico influencia o equilíbrio radioativo entre os diferentes produtos de decaimento do Radônio e do Torônio, como a umidade, os gases agregados de aerossol, a temperatura, a disposição e o tempo de meia vida. Os principais dispositivos de retenção utilizados são: a malha de um filtro, um coletor eletrostático, uma câmara de placas paralelas e uma célula de Lucas. Para o cálculo das concentrações de Radônio, Torônio e de seus produtos de decaimento no ar, o método utiliza equações diferenciais de formação e decaimento de cada um dos produtos de decaimento radioativo. As contagens baseiam-se em espectrometria alfa, beta ou apenas na contagem alfa dos filtros (Cardoso, 1997).

### **3. LEVANTAMENTO DE CAMPO E RESULTADOS**

#### **3.1 Metodologia**

O trabalho foi realizado em um centro comercial, por ser um tipo de edificação que reúne fatores como o conforto, a praticidade, segurança e trabalhadores ocupacionalmente expostos.

O centro comercial está localizado na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, com área construída de 2511.52 m<sup>2</sup>, três pavimentos e mais dois andares de estacionamento. No pavimento térreo encontram-se lojas, e na parte externa uma área para eventos artísticos e culturais, com quiosques, restaurantes e bares. Existem três acessos a este pavimento. No primeiro pavimento, existem lojas e uma pequena praça de alimentação no hall central. O segundo pavimento possui, além das lojas, todas dispostas para circulação central, dois cinemas. Os dois andares de estacionamento estão localizados no subsolo.

A edificação é toda fechada na lateral com esquadrias de vidro, possuindo aberturas superiores amplas, em forma de basculhante. A cobertura, possui uma cúpula central, de vidro, que situa-se à 1,20m de altura das paredes laterais, proporcionando a ventilação através do efeito chaminé. As lojas são refrigeradas por ar condicionado central. No Hall principal existem ventiladores distribuídos uniformemente.

A escolha por este centro comercial deve-se ao fato da edificação ser recente e, utilizar materiais de construção, tais como o granito, o vidro, a cerâmica e o gesso; pela sua solução arquitetônica adequada ao nosso clima local, levando-se em consideração a ventilação natural existente que favorece a uma boa qualidade interna do ar; e por ter sido o único Centro Comercial que permitiu a realização das medidas, dos níveis de Radônio, colaborando para a evolução das pesquisas científicas e divulgação do problema. A dificuldade de realizar medições no interior das construções é um problema cultural do nosso País que deve ser minimizado através da educação da população.

Nas medições em campo, foram utilizados os métodos passivo e ativo. O método passivo nos fornece um valor médio no período de medido. Ao contrário, o ativo nos fornece um resultado, de acordo com as condições, no momento da medido. Com isso, pode-se observar as variações da concentração de Radônio e seus produtos de decaimento radioativos durante os horários de medição.

No sistema passivo foram utilizados os detetores de traços, que permaneceram no local por um período de três meses. Os primeiros foram colocados em Setembro de 1998 e retirados em Dezembro do mesmo ano. Depois foram colocados novamente em Maio de 1999 e retirados em Julho de 1999. Os detetores foram colocados uma terceira vez, em Julho de 1999 e retirados em Setembro de 1999. Os resultados das duas colocações anteriores não foram considerados, pois os aparelhos fornecidos foram montados de forma incorreta, prejudicando a apuração dos mesmos. Somente com a terceira

colocação obteve-se o resultado fornecido adiante (Gráfico 1). Os detetores foram fornecidos e revelados pelo IEN. Os trinta aparelhos foram distribuídos nos três pavimentos uniformemente, nos halls das escadas, na área externa, no hall principal dos pavimentos, nos banheiros, estacionamentos, em algumas lojas, na administração e em salas de trabalho localizadas no subsolo. Optou-se, sempre que possível, por colocar os aparelhos na altura das fossas nasais de um indivíduo de estatura mediana ( $\pm 1,65\text{m}$ ).

No ativo empregamos as seguintes técnicas: Técnica dos dois filtro, Técnica Tsivoglou, Técnica Kusnetz e espectrometria alfa. Essas técnicas foram empregadas, a título de exercício acadêmico, para observarmos as variações da concentração de Radônio e Torônio ao longo das medições, consequentemente os resultados dessas técnicas não estão apresentados neste trabalho

O sistema ativo foi realizado em três etapas. A primeira etapa do método ativo ocorreu entre os dias 16 ao dia 21 de Abril. As medições foram realizadas reservando um dia para cada andar. Escolheu-se três pontos por andar, próximos aos locais de maior movimento, e foram feitas três medições em cada ponto, em horários diferentes, pois a concentração do Radônio e seus filhos variam durante as horas do dia. Os três pontos escolhidos em cada pavimento (as extremidades e o centro) respeitaram, dentro do possível, os locais selecionados no método passivo, apesar de não compararmos os métodos, pois as condições de contorno são distintas (figura 1).

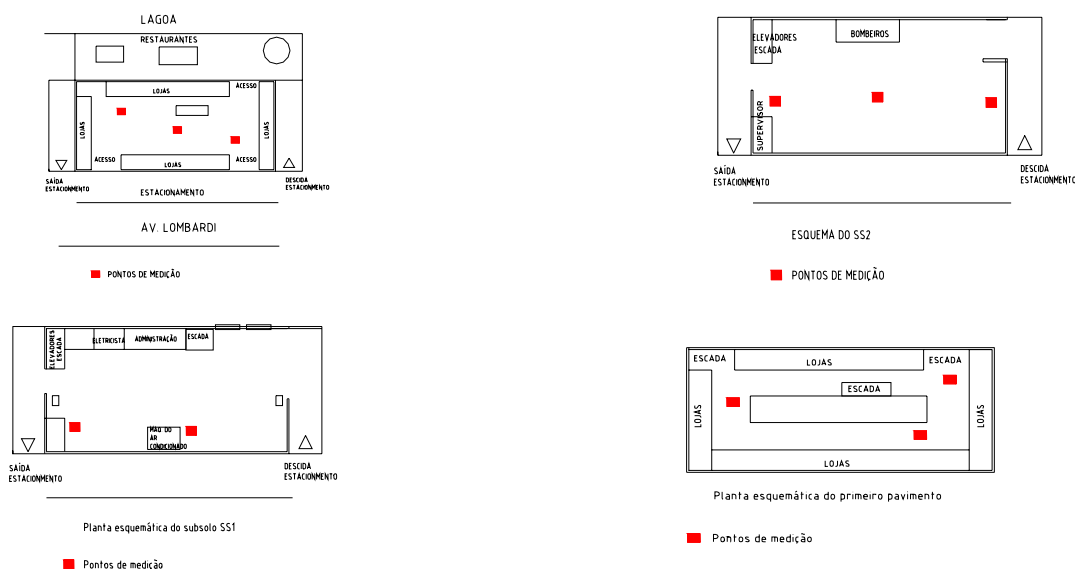


Figura 1 – Plantas Esquemáticas do 1º andar, SS1, SS2 e térreo

O tempo de medição diária foi aproximadamente de seis horas contínuas. Nesse período, durante a execução das três técnicas do ativo (Técnica dos dois filtros, Tsivoglou e Kusnetz), um computador foi deixado acoplado a um espectrômetro (método de espectrometria alfa), ligado por todo o período das seis horas, que nos fornecia as medidas em intervalos de 30 minutos, de acordo com a calibração do aparelho feita pelo IRD (Instituto de Rádio Dosimetria). As medidas foram lançadas no programa (TERMINAL) e depois transferidas para o Excel afim de se obter os gráficos. As medições do método ativo foram repetidas mais outras duas vezes, uma no mês de Julho e outra no mês de Setembro. Como a literatura não relata um procedimento-padrão para a medição de concentração de Radônio, optou-se por realizar três medições em estações diferentes do ano, pois a concentração do Radônio varia de acordo com a época do ano.

Algumas limitações do levantamento de campo foram encontradas, tais com: O horário de funcionamento do shopping; A difícil uniformização da localização dos detetores passivos; A perda de alguns detetores do método passivo e queima durante a revelação dos resultados; Dificuldade de instalação dos aparelhos do método ativo; A proibição das medições no interior dos cinemas; Problemas de funcionalidade com o espectrômetro.

### 3.2. Resultados

Os resultados do levantamento de campo deram abaixo do índice recomendado pela EPA, 4pCi/l (148 Bqm-3). O risco de desenvolver câncer de pulmão é diretamente proporcional as concentrações existentes e ao período de exposição ao Radônio. Ainda se discute, a respeito do valor do índice recomendado, e a existência de uma meta estabelecida pelo EPA para diminuir as concentrações no interior das casas para aproximadamente 1,25 pCi/l (46,25 Bqm-3), portanto, foram propostas algumas soluções para diminuir as maiores concentrações encontradas.

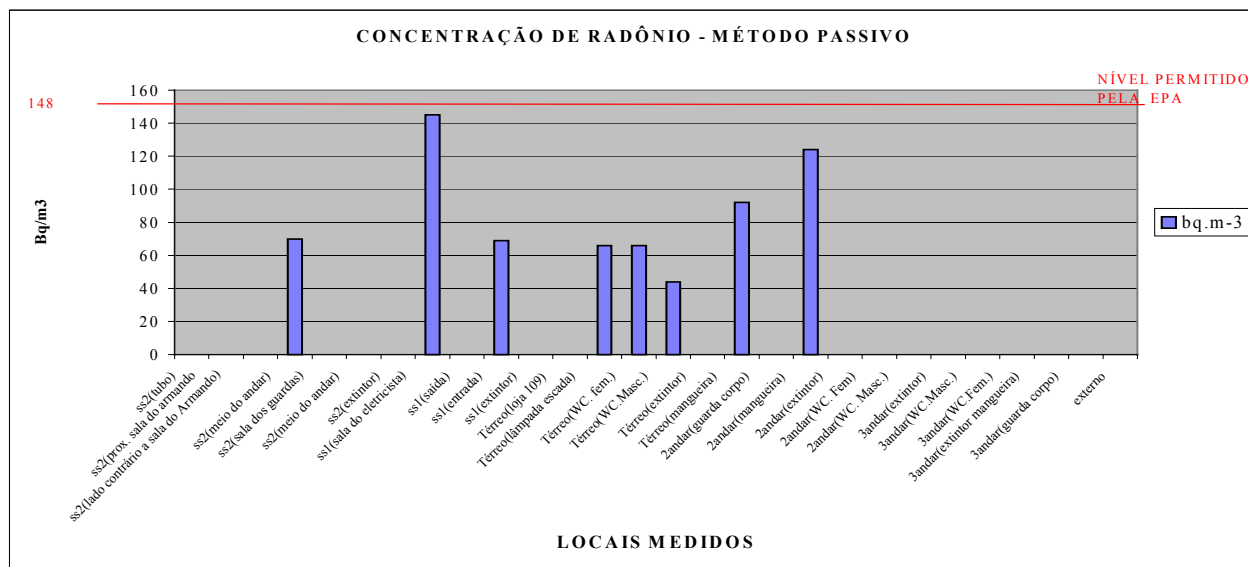


Gráfico 1 – Concentração de Radônio por pavimento – Método Passivo

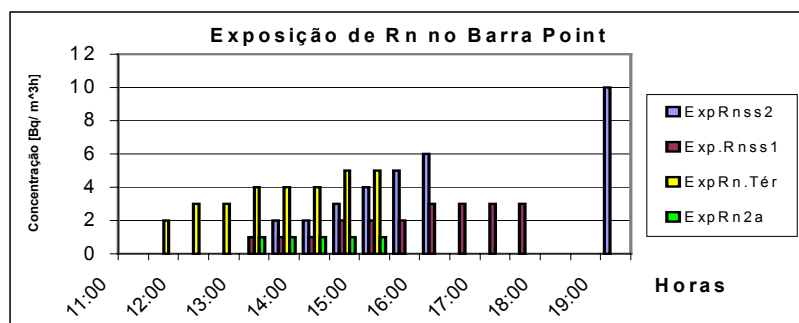


Gráfico 2. – Exposição de Radônio ( Espectrômetria Alfa )

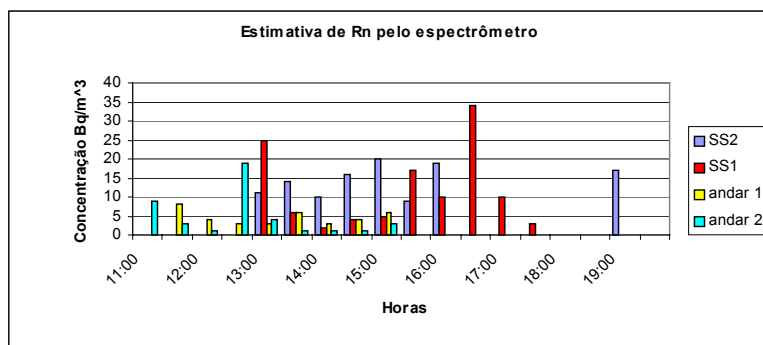


Gráfico 3 - - Estimativa de Radônio ( Técnica de Espectrômetria Alfa )

**Tabela 1 – Quadro comparativo**

Andares	Ventilação	Iluminação	Radônio SI[Bq/m <sup>3</sup> ]
SS2	A	A	10 – 20
SS1	A	A	02 – 34
Térreo	B	B	03 – 08
2º pavimento	C	C	01 – 18

A – Nenhum (ambiente escuro com nenhuma iluminação natural e pouca iluminação artificial)

B – Fraco ( alguma iluminação natural e pouca iluminação artificial)

C – Médio ( iluminação natural razoável e iluminação artificial)

OBS: A ventilação foi qualificada de acordo com a quantidade de aberturas que permitiam a ventilação cruzada.

#### 4. SOLUÇÕES ARQUITETÔNICAS

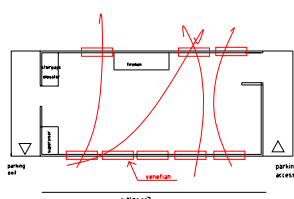


Figura 6 – Proposta de ventilação cruzada no subsolo

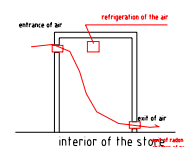


Figura 7 – Solução individual para as lojas

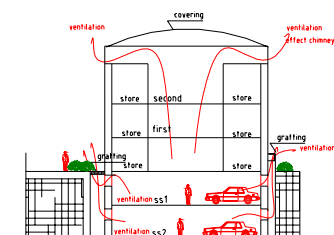


Figura 8 – Corte transversal da proposta de ventilação cruzada

A primeira solução, a curto prazo, seria a ventilação mecânica dos locais, aumentando a troca do ar, através de ventilação cruzada. Outras soluções paliativas, a curto prazo, seriam diminuir o tempo de trabalho nesses ambientes, criando equipes rotativas de trabalhos ou a utilização de materiais de revestimentos que bloqueiem a exalação do Radônio através dos materiais de construção.

A segunda solução constitui-se em criar duas aberturas, uma no alto próxima ao teto por onde é feita a refrigeração do ar (o ar quente sobe), a outra seria posicionada em baixo, em parede oposta. A posição da abertura em baixo facilita a eliminação do Radônio e seus filhos que emanam do solo. Desse modo, mantém-se o referido gás em uma baixa concentração e com o ambiente refrigerado, principalmente no verão, sem aumento do consumo de energia. (figura 7).

A terceira solução, a longo prazo, seria a criação de venezianas de ventilação cruzada no SS1 e SS2 e, afastamento do subsolo em relação ao terreno criando um corredor de ventilação na lateral. Com isso seriam criadas entradas e saídas de ar diminuindo a concentração no interior desses pavimentos. Os subsolos poderiam ser também completamente abertos livres de paredes (figura 6, 8).



## 5.CONCLUSÕES

A falta de uma norma brasileira descrevendo uma metodologia apropriada para aferição da qualidade do ar tendo como parâmetro principal o índice de Radônio, fez com que tivéssemos que desenvolver uma metodologia própria.

Com base no que foi desenvolvido, cabe enfatizar a necessidade de se criar, a nível nacional, uma metodologia padrão a ser seguida para a análise da concentração de Radônio em construções novas e antigas. De acordo com o trabalho, pode-se propor a seguinte sequência metodológica:

1. Estudo do solo em que se vai construir ou do solo onde está localizada a construção existente;
2. Escolha dos materiais de construção adequados de acordo com a sua contribuição para o aumento da concentração de Radônio;
3. Estudo do tipo de fundação apropriada para solos ricos em urânio;
4. Levantamento da concentração de Radônio dos ambientes construídos, através de técnicas do método passivo, detetor de traços e espectrometria alfa do método ativo. Ressaltando que a espectrometria alfa é uma técnica, em que a aparelhagem é cara e existem poucos aparelhos no Brasil;
5. Propor soluções baseadas na renovação do ar, através de ventilação natural ou mecânica;
6. Propor técnicas ou materiais construtivos e de revestimento que permitam o isolamento do ambiente em relação a fonte de emissão do Radônio;

Este trabalho almeja contribuir para iniciar uma discussão e que outros profissionais possam se aprofundar e difundir este tema, até então pouco divulgado no Brasil. Tendo em vista a responsabilidade na redução do índice de Radônio a níveis aceitáveis, diminuindo o risco de doenças como por exemplo o câncer em vários órgãos do corpo humano, principalmente o pulmão, que é o órgão mais atingido.

A divulgação do assunto, a criação de métodos e equipamentos acessíveis a todos para facilitar as medições devem ser metas a serem seguidas no Brasil.

No conforto ambiental existem parâmetros de análise considerados perceptíveis, tais como o conforto térmico (temperatura, umidade do ar, velocidade do vento e outros) e imperceptíveis como o ar saudável (baixa concentração de Radônio). Portanto, cabe aos profissionais da construção civil estudar detalhadamente o problema da qualidade do ar e do consumo de energia. Utilizando-se meios naturais de ventilação, diminui-se o consumo de energia com a refrigeração do ar e melhora-se a qualidade interna do ar. Porém no verão, onde em determinadas regiões encontramos temperaturas altíssimas, somente a ventilação natural não é suficiente. Acrescido a esse fato, temos a poluição sonora, que também é outro fator que contribui para o isolamento do ambiente interno. Existe, portanto, um desafio a ser enfrentados por esses profissionais no desenvolvimento de novos métodos e tecnologias que busquem criar ambientes saudáveis ao homem. O desafio deve ser um trabalho em conjunto com profissionais de outras áreas na busca de soluções cada vez mais adequadas.

## 6.BIBLIOGRAFIA

**Abu- Jarad, F.; Fremlin, J.H. and Bull, R,** - A study of radon emitted from building materials using plastic alpha-track detectors – Phys. Med.Biol. , vol.25, no. 4, pp 683-694, 1980.

**Aldenkamp , FJ; Stoop, P** – “Sources and Transport of Indoor Radon- Measurements and Mechanisms” Thesis of Environmental Radioactivity Research Group at the KVI, 1994.

**Amado F., Gildasio amado** – O Radônio e suas pesquisas no Brasil, 1998

**Annals of the ICRP** – Lung cancer Risk from indoor exposures to radon Daughters- vol 17, no, 1, 1987.

**BEIR VI** – VI Report: “The Health Effects of Exposure to Indoor Radon” – Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR) – National Academy of Sciences – NAS, fevereiro/98.

**Cardoso, Domingos de Oliveira** – Metodologia para Determinação Simultânea de Radônio e Torônio. Tese Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1997

**Carvalho, A. ; Gardsby, K. ; Reddy, T.A. ; Socolow, R.** – “The effect of natural ventilation on Radon and Radon progeny levels in houses”- Radiation protection dosimetry – vol. 45 no. ¼ pp. 569-574, 1992.

**Cehn, Ching-Jiang; Weng, Pao-Shan; and Chu, Tieh-Chi** – ‘Radon exhalation rate from various building materials’ – Health Physics 64 (6) , pp 613-619, 1983.

**Costa, V.C.M.** – “Levantamento e análise da qualidade do ar existente dentro da edificação, levando-se em consideração a arquitetura das edificações e a concentração de Radônio em Shopping Centers,. Tese Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Dezembro, 1999.

**EPA** – Models Standards and Techniques for control of Radon in new residential building – EPA-March, 1994

**Gouvea, Vandir de Azevedo; Silva, Lucia M. da Costa; Binns, Donald Anthony Clarke e Melo, Vicente de Paula** – “Concentração de Rn-222 nos ambientes internos das residências do Município de Monte Alegre (Pa) – I workshop de geofísica Aplicada ao meio ambiente – SBGf -Belém – Pará – Outubro 1996.

**Hintenlang,D.E. ; Shank, A. ; Er, F.T. Natjafi; Roessler’C.E.** – “Evaluation of building design, construction and performance for the control of Radon in Florida houses. Evaluation of Radon resistente in eight new houses, 1996.

**ICRP (1993)** – Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65,1994.

**PROCEL** Economia e Mercado, Rio de Janeiro, 1997.

**Rio Doce, Ana Paula C.** – Determinação da taxa de exalação de Rn-222 em materiais de Construção. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ – 1997.

**Seroa da Motta, A.L.T.,** “ Uma Visão Integrada na Participação do Arquiteto na Qualidade da Habitação”, Apresentado, XX Congresso Pan-Americano de Arquitetos, Maio de 1996, Brasília, DF.

**UNSCEAR 1993** – Sources and effects of ionizing radition. Report of United Nation Scientific Committe on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly, United Nation,1993.

**Villalobos, Ana Paula de Oliveira** – “Medida do coeficiente de difusão do Rn-222 através de tintas usadas na construção civil” – Tese de mestrado- Instituto de Física – Universidade Estadual de Campinas, Julho de 1991.