



## Desenvolvimento de Ambientes de Células-Teste Para a Detecção de $^{222}\text{Rn}$ em Materiais de Construção

S.A. Paschuk<sup>1</sup>, J.N.Corrêa<sup>1</sup>, J. Kappke<sup>1</sup>, L.E. Maria<sup>1</sup>, P.P. Silva, F. Del Claro<sup>1</sup>, D.C. Narloch<sup>1</sup>,  
 A.F.N. Perna, M.R. Martins Neto

Recebido em 30 de setembro de 2013/ Aceito em 14 de março de 2014

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Curitiba, PR - Brasil. Autora para correspondência: [janine\\_nicolosi@hotmail.com](mailto:janine_nicolosi@hotmail.com); [janine@utfpr.edu.br](mailto:janine@utfpr.edu.br)

### Resumo

As medidas de radônio em ambientes dependem dos materiais utilizados para a construção dos mesmos. Uma das maneiras de se fazer medidas que correlacionam materiais e radônio em ambientes é a construção de células-teste para serem utilizadas em medidas de radônio. Buscando-se uma solução de padronização de células-teste que possa auxiliar na maneira como são efetuados os testes de detecção de contaminação por gás radônio, utilizou-se a metodologia do Modelo de Fases, para o desenvolvimento de uma rotina que possa ser utilizada na construção de células-teste. Seguindo instruções propostas pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Radiações Ionizantes da UTFPR, foram construídos protótipos de blocos cerâmicos estruturais e outro de blocos cerâmicos de 6 furos, que passaram por testes de validação para medição da concentração de gás radônio com a utilização de equipamento de medida ativa (AlphaGUARD). Os resultados mostraram que as células-teste construídas serviram ao propósito de padronização dos ambientes de medição.

**Palavras-chave:** Radônio. Modelo de Fases. Células-teste.

### Abstract

*The radon measurements in environments depend on the materials used for their construction. One way to make measurements that correlate materials and radon environments is to build test cells for use in measurements of radon. Seeking a solution of standardization of test cells that can assist in the way the detection tests of radon gas contamination are conducted, the methodology of the Phase Model was used in order to develop a routine that can be used in the construction of cells-test. Following the proposed instructions of the research group of the Laboratory of Ionizing Radiation, the prototypes were built with structural ceramic blocks and other with ceramic blocks of 6 holes, which were undergone to validation tests for measuring the concentration of radon gas by using the active measurement equipment (AlphaGUARD). The results showed that the test cells constructed served the purpose of standardization of measurement environments.*

*Keywords:* Radon. Phase Model. Test cell building.

## INTRODUÇÃO

O estilo de vida moderno gera demandas por novas tecnologias em diversas áreas. Dentro desse contexto, existe a necessidade de desenvolvimento de novos métodos de produção e a adoção de novos materiais, dentre eles os utilizados na construção civil. Sendo assim, conhecer com mais detalhes a origem dos insumos utilizados, torna-se importante para evitar problemas de ordem técnica e de saúde.

O gás radônio ( $^{222}\text{Rn}$ ) é um elemento radioativo, proveniente do decaimento do Rádio ( $^{226}\text{Ra}$ ), por meio de partículas alfa e radiação gama. O  $^{222}\text{Rn}$ , em concentrações elevadas, pode ser considerado um dos potenciais causadores de câncer de pulmão, sendo a principal causa deste malefício depois do cigarro (UNSCEAR, 2000; ICRP 60, 1991).

O  $^{226}\text{Ra}$  e seus produtos de decaimento juntam-se às partículas de poeira no ar (BERGLUND *et al.*, 1992) e possivelmente são inalados pelos indivíduos que habitam o local. Alojados nos pulmões, esses elementos podem sofrer decaimento radioativo, onde liberam partículas alfa que podem alterar o material genético das células pulmonares, aumentando a probabilidade de desenvolvimento de tumores nessa região (ANL, 2005).

O solo é o principal responsável pela maior concentração ambiental de gás radônio e seus produtos de decaimento, porém a concentração de radônio no ar em ambientes de convívio humano não se origina apenas do solo, mas também de materiais de construção que compõem o ambiente, uma vez que esses materiais são fabricados com substâncias retiradas do solo (UNSCEAR, 2000; ICRP 60, 1991).

Normalmente, os materiais de construção não constituem fontes significativas de elevação dos níveis de radônio. Porém, em alguns casos, como por exemplo, de materiais contaminados por rejeitos radioativos (ATSDR, 2000), os materiais de construção podem acrescer a

concentração de radônio *indoor* em  $10 \text{ Bq/m}^3$  a  $20 \text{ Bq/m}^3$ , podendo chegar a valores acima de  $1000 \text{ Bq/m}^3$ . Em relação aos níveis de concentração em ambientes internos, recomenda-se que sejam menores que  $100 \text{ Bq/m}^3$  (WHO, 2009).

Todavia, materiais de construção eventualmente podem conter níveis de  $^{238}\text{U}$  expressivos que em combinação com a alta porosidade do material permite que o gás  $^{222}\text{Rn}$  escape e se concentre no interior dos ambientes. Dessa forma, os materiais de construção podem representar uma fonte importante de radônio *indoor* (RUOSTEENOJA, 1991).

Por se tratar de um problema de saúde pública, são necessários métodos eficientes para se detectar os níveis de concentração desse gás em ambientes habitados (AFONSO, 2010).

Devido principalmente à falta de legislação específica para a regulamentação e controle dos níveis de exalação de gás radônio em ambientes de convívio, os diversos grupos de pesquisa realizam suas análises com metodologias diferentes, o que dificulta a comparação de resultados que viabilize uma normatização para o setor em relação à qualidade e segurança dos materiais utilizados na construção civil.

A adoção de procedimentos padronizados para a execução de testes voltados para medidas de radônio, quer seja em ambientes, materiais, solo ou água, viabilizaria uma troca mais clara de informações entre os grupos de pesquisa principalmente pela questão de execução de testes em condições semelhantes, situação esta que não ocorre atualmente.

Assim, esta pesquisa visa elaborar um processo padronizado para a fabricação de células-teste, no que concerne os materiais utilizados e métodos construtivos, utilizadas na execução de experimentos para se determinar a concentração de gás radônio em ambientes que

simulem o comportamento do entorno do ambiente (materiais) como em um ambiente real, contemplando a descrição de cada uma das etapas necessárias para a fabricação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Existem diferentes técnicas que podem ser utilizadas para a medição de concentração de gás radônio em materiais de construção. Esta pesquisa

se baseia em duas, que possuem potencial para serem utilizadas como critério de validação da proposta.

Para avaliar a exposição ao  $^{222}\text{Rn}$  em ambientes, podem ser feitas exposições de detectores do estado sólido tipo CR-39, colocados em câmaras de difusão. A Figura 1 mostra uma imagem da câmara de difusão.



Fig. 1 - Câmara de difusão, pronta para uso, já com filtro e detector CR-39.

O CR-39 é utilizado pelo grupo de pesquisa em Radiações Ionizantes da UTFPR e é um detector da família dos SSNTD, sensível à radiação alfa, e foi escolhido devido a diversos fatores que incluem sua boa sensibilidade, estabilidade e alto grau de transparência óptica. O uso do CR-39 na detecção de radônio é amplamente utilizado em um número

extenso de pesquisas. Inclusive é um dos detectores utilizados pelo CDTN / CNEN e pelo IRD / CNEN em pesquisas sobre radônio. Nas pesquisas utiliza-se este detector também devido a facilidade de aquisição e instalação.

Já a Figura 2 destaca o detector seu posicionamento na câmara.



Fig. 2 - Da esquerda para direita: Detector CR-39; posicionamento do detector dentro da câmara de difusão. Fonte: Corrêa (2011).

Outra maneira de efetuar medidas de concentração de radônio é com a utilização do equipamento AlphaGUARD da SAPHYMO®, que faz medidas instantâneas e contínuas, para a medição da concentração de gás radônio.

O equipamento AlphaGUARD é um aparelho portátil e compacto para medidas contínuas de concentração de radônio bem como de parâmetros ambientais como temperatura, pressão e umidade.

O equipamento mede radônio e filhos sem diferenciá-los. Tem eficiência comprovada na detecção de radônio, resposta rápida aos gradientes de concentração, bem como não necessita de cuidados específicos especiais de

manutenção para operações de longo prazo. É utilizado pela UTFPR e também por grupos de pesquisa do IRD / CNEN e do CDTN / CNEN.

Na Figura 3, há uma imagem deste equipamento.



Fig. 3 – Sistema de Monitoramento Ambiental AlphaGUARD. Fonte: Saphymo (2013).

Para os dois tipos de detectores mencionados é viável coletar dados com a exposição direta do equipamento / detector ao ambiente que se pretende analisar, sem a necessidade de conexões externas. Ou seja, mesmo para o AlphaGUARD, que é um equipamento eletrônico, basta efetuar as programações e deixar o mesmo em funcionamento dentro de uma câmara de emissão ou recinto onde se pretende medir a concentração de partículas alfa emitidas pelos radionuclídeos presentes.

Nesta pesquisa, por se tratar do desenvolvimento do projeto de um produto, a metodologia utilizada será baseada no Modelo de Fases, conforme a proposta de Pahl *et. al.* (2005) para que a melhor solução seja encontrada para esse caso.

A metodologia adotada (PAHL *et. al.* 2005) é composta de quatro fases, onde os produtos de uma fase alimentam a seguinte, fornecendo meios para estruturar os trabalhos em cada fase e assim, escolher com mais clareza a melhor solução para o problema. As quatro fases irão auxiliar na obtenção de melhor solução para o problema de execução de células-teste, utilizadas na detecção de concentração de radônio em ambientes.

Entretanto, por se tratar de um produto especial, nem todas as etapas intermediárias de cada fase do Modelo de Fases mencionado serão aplicadas, especificamente, aquelas que envolvem estratégias de *marketing* não serão necessárias neste momento.

O produto a ser desenvolvido não terá uma finalidade comercial e terá uso para grupos que realizam pesquisa na área de Física Nuclear e Geologia Médica. Todavia, manteve-se a de denominação de *cliente* que o Modelo de Fases adota, que para este caso, pode ser considerado o grupo de pesquisa em Radiações Ionizantes e Física Nuclear, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

O produto do trabalho consiste em elaborar as instruções de fabricação das células-testes padronizadas, em conformidade com as expectativas criadas pelo cliente. Para fins de validação da solução encontrada, serão construídos protótipos que serão testados pela equipe do cliente, com o intuito de assegurar a confiabilidade dos procedimentos elaborados.

Neste caso, identificou-se a importância de se realizar testes para a detecção da concentração de radônio em ambientes de convívio humano, porém há uma falta de produtos nacionais que possam auxiliar nesse processo. Num levantamento preliminar, verificou-se que praticamente todos os equipamentos de precisão utilizados são importados e que as soluções

*Paschuck et al. Desenvolvimento de ambientes de células-teste para detecção...*

nacionais são executadas de forma aleatória, solucionando problemas pontuais para os processos de medição e análises já consolidados.

Um exemplo de construção ainda não

padronizada de células-teste feita por Fior (2008) no Laboratório de Radiações da UTFPR pode ser visto na Figura 4.



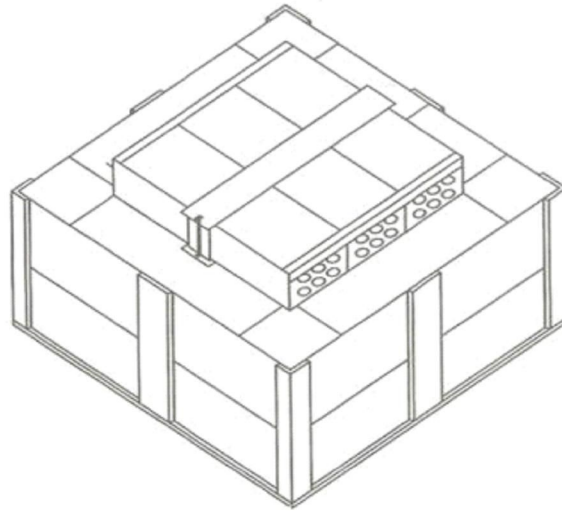
*Fig. 4 – Modelo de solução utilizado na execução de testes para medição de concentração de gás radônio.*  
*Fonte: Fior (2008).*

Na situação mostrada na Figura 4, visando impedir a troca de ar entre o interior e o exterior do módulo construído, foi colocado um contrapeso de concreto sobre uma chapa de compensado de madeira, revestido com borracha. Para esse tipo de teste, a solução utilizada foi suficiente, porém a repetitividade do teste ficou prejudicada. Nesse caso, o teste incluiu variáveis dependentes do local onde os módulos foram construídos e a utilização simultânea de vários tipos de materiais diferentes, tornando inviável determinar como cada material de construção contribuiu para os níveis de contaminação obtidos.

Pode-se verificar que o ponto que deve ser tratado com mais atenção diz respeito ao tamanho mínimo que deve ser assegurado. Outro ponto crítico tem haver com a vedação que o produto deve ter. Não pode haver troca de ar com o ambiente externo o que inutilizaria as medições

obtidas. Limitar os tipos de materiais utilizados na construção também tem sua importância, pois o foco da pesquisa do cliente é justamente determinar qual a parcela de contaminação proveniente de cada material utilizado na construção civil. Se houver muitas misturas, dificultará ou até mesmo impossibilitará a obtenção dessa informação.

Assim, concluiu-se, também que a solução mais simples e eficiente é aquela em que poucos tipos de materiais diferentes são utilizados, levando-se em conta a praticidade na hora de efetuar a construção. Uma possível solução seria uma estrutura de sustentação metálica, com soldas. A célula-teste teria uma estética melhor, mas haveria necessidade de mão-de-obra especializada para a elaboração. A Figura 5 mostra um croqui destas possível solução.

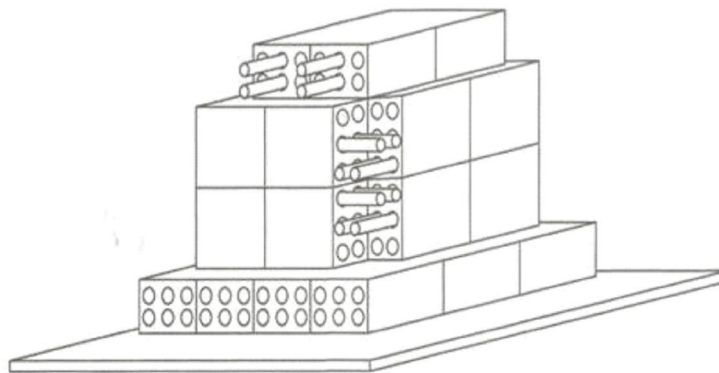


*Fig. 5 – Síntese da Matriz Morfológica – 1ª solução possível para execução*

Com base nas características apontadas como críticas pelo cliente optou-se pela estrutura de fixação de encaixe, de base retangular (ou quadrada), com a tampa também de blocos cerâmicos. Para a vedação, o próprio bloco cerâmico moído misturado com água e farinha mostrou-se viável, uma vez que a tampa não terá função estrutural, logo não será exigida mecanicamente. Dessa maneira, elimina-se a contaminação proveniente de outros materiais. A Figura 6 mostra um esquema dessa outra possível solução.

Optou-se pela construção de dois tipos diferentes de células-teste. Uma delas com blocos

cerâmicos de 6 furos e a outra com blocos cerâmicos estruturais. As formas de cada bloco são diferentes, bem com a resistência mecânica (no caso do bloco cerâmico de 6 furos a resistência é bem menor). Entretanto, as ideias básicas de como efetuar a montagem são comuns. As principais diferenças serão explicadas a seguir. A escolha em desenvolver os trabalhos com a utilização de blocos cerâmicos se deu por este ser um produto com formato uniforme e que é amplamente utilizado na construção de diferentes estruturas, não sendo necessário desenvolver técnicas e ferramentas específicas para a obtenção e utilização desse item.



*Fig. 6 - Síntese da Matriz Morfológica – 2ª solução possível para execução*

### **Procedimentos de montagem – Bloco Cerâmico de 6 Furos**

Para esse tipo de construção, a Tabela 1 mostra os materiais que são necessários. Como é possível verificar, a variedade de materiais selecionados para a construção das células-teste é bastante reduzida. Como a intenção dos testes realizados pelo cliente é determinar a contribuição de cada material, nesse primeiro momento as análises serão baseadas no material cerâmico (tijolo). As abraçadeiras de *nylon*®, o madeirite e os tubos de PVC não contribuem para aumentar os níveis de contaminação por gás radônio.

Além desses materiais citados, fez-se o uso de algumas ferramentas auxiliares para a construção, como alicate universal, serras, espátula, bandeja, entre outras.

Sendo assim, um dos pontos críticos levantados pelas informações obtidas foi solucionado já na escolha dos materiais e na forma de montagem.

O bloco cerâmico moído é utilizado para fazer a vedação das frestas, impedindo que haja troca gasosa com o meio externo, que é o outro ponto crítico detectado. Esse material é misturado com água e um pouco de farinha de trigo para melhorar a aderência no local de aplicação. Ressalta-se aqui que essa mistura não tem finalidade estrutural alguma, logo uma vez que seja posta nas frestas, a qualquer movimentação que ocorra, deverá ser feita uma verificação para avaliar se não há necessidade de uma nova aplicação.

Outro ponto que merece atenção é o fato do bloco cerâmico moído ser do mesmo lote que se pretende analisar para que o teste não seja comprometido. Recomenda-se que antes de se iniciar a montagem, deve-se conhecer os níveis de contaminação do local para efetuar as análises com mais confiabilidade.

Dando sequência a instrução de montagem, a Tabela 2 apresenta as informações necessárias para a execução.

*Tabela 1 - Lista de materiais utilizados na construção da célula-teste de blocos cerâmicos de 6 furos.*




<b>Materiais Utilizados – Bloco Cerâmico de 6 Furos</b>		
<b>Descrição</b>	<b>Qtde</b>	<b>Dimensões (cm)</b>
Bloco cerâmico de 6 furos	34	6x14x19
Madeirite	1	60x60
Tubo PVC Ø25mm	34	55
Abraçadeira de <i>nylon</i> ®	26	0,47X38
Bloco cerâmico moído	2 kg	

Tabela 2 - Etapas de montagem

Etapa	Descrição	Imagem
1	Posicionar o madeirite em local seco e coberto. <b>Atenção:</b> Se a superfície onde ocorrerá a montagem for nivelada e estável, não há necessidade desse item.	
2	Posicionar doze blocos cerâmicos sobre o madeirite segundo imagem ao lado	
3	Posicionar 4 blocos cerâmicos, com os furos alinhados.	
4	Com 4 tubos de PVC Ø25mm e 4 abraçadeiras de nylon®, unir os tubos <b>Atenção:</b> Laterais opostas entre si devem ter os tubos posicionados da mesma maneira. Prender as abraçadeiras o mais próximo possível do bloco cerâmico. Em um par de laterais: tubos na fileira do meio e na primeira de baixo para cima. No outro par de laterais: tubos na 3ª fileira e na fileira do meio da outra linha de bloco cerâmico (foto ao lado)	
5	Posicionar as quatro laterais sobre a base, observando a posição dos tubos.	
6	Travar as laterais entre si utilizando abraçadeiras.	
7	Com o auxílio de uma espátula aplicar o vedante de bloco cerâmico moído.	



## Continuação da Tabela 2

8	Posicionar seis blocos cerâmicos e colocar 6 tubos de 25mm de diâmetro por 55 cm de comprimento e com oito abraçadeira unir os blocos.	
9	Aplicar a mistura bloco cerâmico triturado + água, sobre as bordas superiores, onde a tampa será apoiada.	
10	Posicionar a tampa no local. Aplicar o vedante na tampa após os detectores serem posicionados no interior da célula-teste.	

### Procedimentos de montagem – Bloco Cerâmico Estrutural

Os procedimentos para a montagem utilizando os blocos cerâmicos estrutural são bastante similares, sendo necessária a substituição dos tubos de PVC por pedaços de madeira em virtude do peso e formato desses

blocos serem diferentes. A quantidade de blocos cerâmicos estrutural é menor por apresentarem dimensões maiores. A lista de material para esse tipo de montagem pode ser encontrada na Tabela 3.

Tabela 3 - Lista de materiais utilizados na construção da célula-teste de bloco cerâmico estrutural

Materiais Utilizados – Célula Bloco Cerâmico Estrutural		
Descrição	Qtde	Dimensões (cm)
Bloco cerâmico estrutural	16	14x19x29
Madeirite	1	60x60
Ripa (madeira pinus)	4	2,5x5x250
Abraçadeira de nylon®	10	0,47x38
Abraçadeira de nylon®	6	0,47x50
Bloco cerâmico estrutural moído	2 kg	

Nesse caso, a base é composta por 6 blocos cerâmicos estruturais, cada lateral é composta por 2 blocos e a tampa por 4 blocos. Uma vista parcial de uma montagem com essa configuração pode ser vista na Figura 7.

Como ocorreu na montagem com blocos de 6 furos, as laterais opostas devem ter a mesma

configuração e para evitar que haja coincidência na montagem um dos pares de laterais devem ter um calço de madeira, posicionados de maneira oposta. A Figura 8 mostra um exemplo de como esses calços podem ser montados, onde o pedaço de madeira menor possui o comprimento da lateral encaixada.



*Fig. 7 – Etapa intermediária da construção da célula-teste de blocos cerâmicos estruturais*



*Figura 8 – Calços utilizados para auxiliar na montagem das laterais, com a finalidade de desnivelar o madeiramento estrutural.*

*Paschuck et al. Desenvolvimento de ambientes de células-teste para detecção...*

Na Figura 9 é possível visualizar o detalhe de como é o travamento das laterais da caixa, quando montadas com blocos cerâmicos estruturais.

Na Figura 10 é apresentada a versão final dessa configuração, sem o isolamento das frestas, que também é feita com a mistura de bloco cerâmico moído, do mesmo lote daqueles que serão testados.

As dimensões de ambos os modelos se adequam aos requisitos para a efetivação dos testes requeridos. Nesse caso, foram consideradas

como relevantes as dimensões internas 30x30x30cm o que é suficiente para efetuar os testes com o AlphaGUARD confinado no interior da célula-teste e com volume de ar suficiente para obtenção de dados. Optou-se por adequar as dimensões a esse equipamento por ser aquele adquirido pelo cliente para realizar seus experimentos.

Se a intenção for realizar experimentos através da utilização dos detectores de difusão, o requisito de tamanho estará satisfeito também.



*Figura 9 - Detalhe das abraçadeiras fixando o madeiramento das laterais da célula-teste de bloco estrutural.*



*Figura 10 – Célula-teste de blocos cerâmicos estruturais após a finalização da montagem, mas sem as frestas vedadas.*

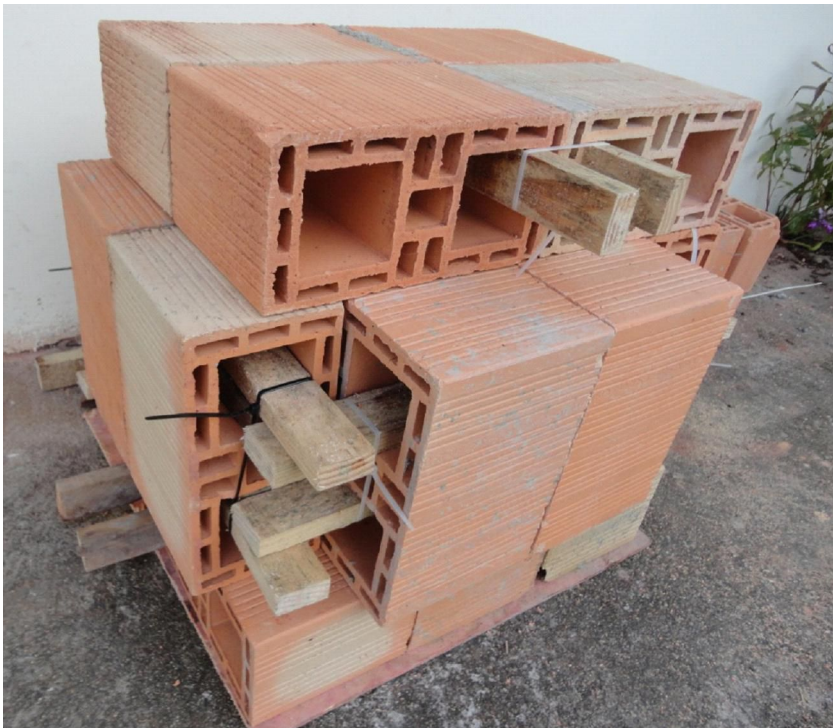
O que se buscou como diferencial para o processo de montagem escolhido foi a praticidade e a facilidade de execução, ou seja, um método que pudesse ser posto em prática por equipes de pesquisa leigas em processos de construção civil. Entende-se que movimentar a célula-teste depois de pronta pode ser um problema devido ao peso e fragilidade das amarrações feitas, entretanto se a base onde a célula for construída for rígida e estável o suficiente para ser transportada com segurança, não há impedimentos para essa ação, desde que seja possível reparar eventuais danos nas vedações já feitas.

Outro ponto interessante é a flexibilidade do que foi proposto. Se houver necessidade de ambientes-testes maiores ou menores do que os

modelos utilizados aqui, basta modificar as quantidades de blocos cerâmicos e as dimensões dos tubos ou madeiras utilizadas. Para blocos de outros formatos e materiais, soluções semelhantes às mostradas aqui podem ser utilizadas, desde que sejam feitas as adaptações necessárias.

## RESULTADOS

Os protótipos construídos para os testes de validação, foram testados através da medida feita com o AlphaGUARD, com tempo de exposição de 60 minutos, apenas com o intuito de validar o uso das células-teste. A Figura 11 mostra o posicionamento do equipamento no interior da célula-teste de bloco cerâmico de 6 furos, antes da colocação da tampa.



*Figura 11 - Sistema de Monitoramento Ambiental AlphaGUARD posicionado para execução da medida de contaminação do material utilizado na construção de um dos protótipos.*

Este teste foi feito por apenas uma hora, e os valores esperados são próximos de zero e não configuram uma medida real, o que não afeta a validação do uso das células-teste.

Foram expostos três detectores CR-39 em

cada célula-teste, por um período de 15 dias, com o intuito de obter resultados reais sobre a contribuição dos blocos para a concentração dos ambientes, com o objetivo de se validar o processo de medição.

As concentrações finais obtidas nestas medidas nas células-teste podem ser visualizadas na Tabela 4. Para obtenção destas concentrações, foram descontados os valores de *background* dos detectores e do ambiente externo onde

foram construídas as células-teste. Estes valores de *background* foram obtidos anteriormente em trabalho anterior do grupo (DEL CLARO, 2013).

Tabela 4 - Dados obtidos em medida real com o CR-39.

	Valor (Bq/m <sup>3</sup> )	Incerteza (Bq/m <sup>3</sup> )
<b>Blocos Cerâmicos de 6 Furos</b>	137	+/- 52
<b>Blocos Cerâmicos Estruturais</b>	8	+/- 50

As concentrações medidas ficaram abaixo dos limites recomendados pela UNSCEAR (2000) e pela CNEN (2005), em sua posição regulatória. Este resultado é esperado, pois não há histórico de grandes concentrações de atividade de radônio advindas de blocos cerâmicos. Todavia, para outros materiais de interesse, como o concreto e o fosfogesso, estas concentrações podem ser mais altas e, eventualmente, ficar acima dos valores recomendados e configurar necessidade de análise mais específica dos materiais.

## CONCLUSÕES

Com relação ao processo para a fabricação de células-teste para detecção de radônio, o mesmo foi feito a partir do Modelo de Fases que propiciou a escolha do método descrito e padronizado.

Quanto aos procedimentos específicos de fabricação das células-teste o mesmo mostrou-se eficiente no que diz respeito a respeitar os requisitos do cliente. Durante a fase de construção dos protótipos, verificou-se que a execução é razoavelmente simples, podendo ser feita por uma só pessoa. A forma de apresentação das instruções, acompanhadas de imagens torna mais clara a forma construtiva da célula-teste.

Em medidas preliminares, a título de

validação das células-teste, foi possível fazer simulação com o medidor AlphaGUARD e uma medida real com detectores CR-39. As células-teste se mostraram adequadas para estas medidas. Assim, esta pesquisa propiciou a elaboração de um processo padronizado para a fabricação de células-teste para medidas da concentração de gás radônio em ambientes que simulem o comportamento dos materiais em um ambiente real.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO, J C. Radônio. **Química Nova na Escola** (Impresso), v. 32, p. 267-268, 2010.
- ANL – Argonne National Laboratory. Radiological and Chemical Fact Sheets to Support Health Risk Analyses for Contaminated Areas. **Human Health Fact Sheet: Radium**. Chicago, 2005. Disponível em <http://www.gfxtechnology.com/ArgonneRadFacts.pdf#page=58>. Acesso em maio de 2013.
- ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Radon Toxicity. **Case Studies in Environmental Medicine**. Atlanta: 2000.
- BERGLUND B., BRUNEKREEF B., KNÖPPEL H., LINDVALL T., MARONI M., MOLHAVE L., SKOV P. **Effects of indoor air pollution on human health**. Indoor air. Vol. 2, p 2-25, 1992.

- CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Posição Regulatória 3.01/007**. Níveis de intervenção e de ação para exposição crônica. Rio de Janeiro, Brasil, 2005.
- CORRÊA, J. N; **Avaliação dos níveis de contaminação de radônio em ambientes e água de poços no estado do Paraná**. 2011. 111 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.
- DEL CLARO, F. **Avaliação da concentração de radônio-222 no ar de postos de trabalho de Curitiba/PR**. 2013. 103 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.
- FIOR, L. **Análise da Concentração de Radônio proveniente dos Materiais de Construção**. Curitiba: UTFPR, 2008. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- ICRP - International Commission on Radiological Protection. ICRP 60 - **Recommendations of the International Commission on Radiological Protection**. Oxford: Pergamon Press, v. 2, n. 1-3, 1991.
- PAHL G; BEITZ W; FELDHUSEN, J; GROTE, K-H. **Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. São Paulo: EdgardBlücher, 2005.
- RUOSTEENOJA, E. **Indoor radon and risk of lung cancer: an epidemiological study in Finland**. Helsinki: 1991. Academic dissertation. Medical Faculty of the University of Tampere.
- SAPHYMO. Environment Monitoring Systems. **AlphaGUARD**. Disponível em: [http://www.saphymo.com/radiation-measurement/environment-monitoring-  
systems/alphaguard/154.htm](http://www.saphymo.com/radiation-measurement/environment-monitoring-<br/>systems/alphaguard/154.htm). Acesso em maio de 2013.
- UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. **Sources and Effects of Ionizing Radiation**, annex B, v. I, 2000. UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly.
- UNSCEAR-United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. **Sources and Effects of Ionizing Radiation**, annex I, 2000. UNSCEAR Report to the United Nations General Assembly.
- WHO – World Health Organization. **Handbook on Indoor Radon**. A Public Health Perspective, Switzerland: WHO press, 2009.