

# Níveis de radiação ambiental em serviço de tomografia por emissão de pósitrons acoplada a tomografia computadorizada (PET/CT)\*

*Ambient radiation levels in positron emission tomography/computed tomography (PET/CT) imaging center*

Priscila do Carmo Santana<sup>1</sup>, Paulo Marcio Campos de Oliveira<sup>1</sup>, Marcelo Mamede<sup>2</sup>, Mariana de Castro Silveira<sup>3</sup>, Polyanna Aguiar<sup>3</sup>, Raphaela Vila Real<sup>3</sup>, Teógenes Augusto da Silva<sup>4</sup>

Santana PC, Oliveira PMC, Mamede M, Silveira MC, Aguiar P, Real RV, Silva TA. Níveis de radiação ambiental em serviço de tomografia por emissão de pósitrons acoplada a tomografia computadorizada (PET/CT). Radiol Bras. 2015 Jan/Fev;48(1):21–25.

**Resumo** **Objetivo:** Avaliar o nível de radiação no ambiente de um serviço de PET/CT.

**Materiais e Métodos:** Para a determinação dos níveis de radiação no ambiente foram utilizados dosímetros termoluminescentes TLD-100H previamente selecionados e calibrados. Estes detectores foram expostos durante 32 dias em diversos pontos estrategicamente escolhidos nas dependências do serviço e nos prédios adjacentes. Após o período de exposição, os dosímetros foram recolhidos e processados.

**Resultados:** Em nenhum dos pontos avaliados os valores medidos ultrapassaram os limites de restrição de dose para área controlada (5 mSv/ano) ou para área livre (0,5 mSv/ano) recomendados pelas normas brasileiras.

**Conclusão:** Com este trabalho foi possível demonstrar que todas as blindagens do serviço estão adequadas e que, conseqüentemente, os trabalhadores, desde que seguindo as normas de radioproteção, receberão doses abaixo da dose de restrição indicada no Brasil.

*Unitermos:* Dosimetria; Dosimetria termoluminescente; PET/CT.

**Abstract** **Objective:** To evaluate the level of ambient radiation in a PET/CT center.

**Materials and Methods:** Previously selected and calibrated TLD-100H thermoluminescent dosimeters were utilized to measure room radiation levels. During 32 days, the detectors were placed in several strategically selected points inside the PET/CT center and in adjacent buildings. After the exposure period the dosimeters were collected and processed to determine the radiation level.

**Results:** In none of the points selected for measurements the values exceeded the radiation dose threshold for controlled area (5 mSv/year) or free area (0.5 mSv/year) as recommended by the Brazilian regulations.

**Conclusion:** In the present study the authors demonstrated that the whole shielding system is appropriate and, consequently, the workers are exposed to doses below the threshold established by Brazilian standards, provided the radiation protection standards are followed.

*Keywords:* Dosimetry; Thermoluminescence dosimetry; PET/CT.

## INTRODUÇÃO

A adoção de programas de monitoração ambiental tem como objetivo geral avaliar as condições radiológicas do local de trabalho. O programa de monitoração ambiental irá as-

segurar que as condições de trabalho sejam aceitavelmente seguras e satisfatórias para os indivíduos expostos e que os níveis de dose estabelecidos pela autoridade regulatória (no Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN), tanto para áreas livres quanto para áreas controladas não sejam ultrapassados<sup>(1)</sup>.

Como parte do programa de monitoração ambiental, existe a determinação da dosimetria ambiental. Esta dosimetria é necessária para estimar as doses em locais onde pode existir exposição às radiações ionizantes, tanto de indivíduos ocupacionalmente expostos quanto de pacientes e público em geral. A preocupação com a dosimetria ambiental existe em todas as modalidades de radiodiagnóstico.

Adad et al. determinaram a curva de isodose em uma sala de mamografia e chegaram à conclusão que o uso de blindagem adicional em salas de mamografia não é necessário, já que, nas distâncias acima de 0,50 m, as medidas evidenciadas geravam doses absorvidas abaixo de 0,1 mGy por

\* Trabalho realizado no Departamento de Anatomia e Imagem da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

1. Doutores, Professores Adjuntos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

2. Pós-doutor, Professor Titular da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

3. Alunas de Graduação do Curso de Tecnologia em Radiologia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

4. Pós-doutor, Pesquisador Titular do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – Comissão Nacional de Energia Nuclear (CDTN/CNEN), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Endereço para correspondência: Dra. Priscila do Carmo Santana. Departamento de Anatomia e Imagem – UFMG. Avenida Professor Alfredo Balena, 190, Santa Efigênia. Belo Horizonte, MG, Brasil, 30130-100. E-mail: pridilli@gmail.com.

Recebido para publicação em 11/6/2013. Aceito, após revisão, em 8/5/2014.

exposição realizada<sup>(2)</sup>. Vieira et al. (Determinação das curvas de isodose em braquiterapia com fontes radioativas lineares. VI Congresso Brasileiro de Física Médica; 4 a 6 de outubro de 2001; Rio de Janeiro, Brasil) determinaram curvas de isodose em braquiterapia para fontes radioativas lineares, enquanto Goulart et al. (Determinação das curvas de isoexposição de um equipamento de fluoroscopia digital em uma sala de hemodinâmica. VIII Congresso Brasileiro de Física Médica; 13 a 16 de maio de 2003; Porto Alegre, Brasil) determinaram curvas de isodose em uma sala de hemodinâmica, e Andrade et al. (Determinação das curvas de isoexposição em pacientes submetidos à iodoterapia. VIII Congresso Brasileiro de Física Médica; 13 a 16 de maio de 2003; Porto Alegre, Brasil) estimaram as curvas de isodose para um equipamento de fluoroscopia digital e também no quarto em que os pacientes recebiam doses de iodoterapia em medicina nuclear.

Avila et al. determinaram a dose ambiental em um serviço de medicina nuclear com TLD-100 e TLD-900. Na sala da gama-câmara, a taxa de equivalente de dose ambiental foi cerca de 0,05  $\mu\text{Sv/h}$ . Nos outros locais monitorados, com os dois tipos de detectores, os valores de equivalente de dose ambiental obtidos com TLD-900 foram 25–45% maiores do que os valores encontrados com a utilização do TLD-100. Este resultado foi atribuído à produção de radiação espalhada de baixa energia que resulta em maior resposta do TLD-900 e, portanto, os valores encontrados com o TLD-100 foram considerados mais confiáveis<sup>(3)</sup>.

Equipamentos de tomografia por emissão de pósitrons acoplada a tomografia computadorizada (PET/CT) são dedicados ao estudo de emissores de pósitron (por exemplo:  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{15}\text{O}$ ). O radioisótopo mais comumente encontrado nos centros de medicina nuclear com tecnologia PET/CT é a fluorodesoxiglicose marcada com flúor-18 ( $^{18}\text{F}$ -FDG), cuja energia liberada após interação com o meio é de 511 keV, e sua meia-vida é de aproximadamente 109 minutos. A CT, que foi incorporada a essa tecnologia, é utilizada basicamente para a correção de atenuação dos órgãos adjacentes ao local de interesse do estudo e para auxiliar a localização anatômica precisa das alterações moleculares identificadas pela PET.

Centros especializados em imagem diagnóstica com a técnica de PET/CT devem seguir os valores de restrição de dose anual (5 mSv para áreas controladas e supervisionadas e 0,5 mSv para áreas livres) estabelecidos na norma CNEN NN 3.01 – “Diretrizes de proteção radiológica”<sup>(1)</sup>.

Visando assegurar a proteção radiológica de trabalhadores e indivíduos do público, foi realizado no Centro de Imagem Molecular (CIMol), prédio anexo à Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais, a dosimetria de toda a área ocupada pelo CIMol e das salas adjacentes.

De acordo com a Portaria 453/98 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – “Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico” –, as áreas devem ser classificadas como áreas livres ou áreas controladas

e os níveis de restrição de dose devem ser 0,5 mSv/ano e 5,0 mSv/ano, respectivamente<sup>(4)</sup>. Já a norma CNEN NN 3.01 – “Diretrizes básicas de proteção radiológica” – estabelece que o serviço deve avaliar os níveis de restrição de dose compatíveis com suas atividades como condição limitante do processo de otimização da proteção radiológica<sup>(1)</sup>. A American Association of Physicists in Medicine, em sua publicação AAPM-108 – “PET and PET/CT shielding requirements” –, recomenda a utilização do nível de 5,0 mSv/ano para fins de cálculo de blindagem, de modo a otimizar os níveis de radiação a que estão submetidos os indivíduos ocupacionalmente expostos<sup>(5)</sup>.

O presente trabalho tem o objetivo de demonstrar que os níveis de radiação das áreas ocupadas pelos profissionais que atuam na operação do equipamento de PET/CT, funcionários de áreas adjacentes e demais indivíduos do público, desde que seguindo as recomendações adequadas de radioproteção, são compatíveis com os valores de restrição para exposição externa de normas mais restritivas, como a Portaria 453/98.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O CIMol é um centro de imagens de PET/CT que segue os requisitos de radioproteção recomendados e realiza, periodicamente, a monitoração ambiental com detectores termoluminescentes para assegurar que os níveis de radiação estejam dentro dos limites recomendados. Sendo parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Medicina Molecular e prestando serviços de medicina nuclear, o CIMol ocupa uma área de aproximadamente 320 m<sup>2</sup> e está equipado com o aparelho PET/CT modelo GE Discovery 690, que possui tecnologia de detectores LYSO e um tomógrafo de 64 canais (*multislice*).

O CIMol possui, no 1º andar, as instalações do PET/CT compostas por uma recepção, dois banheiros para funcionários, copa, sala de reuniões e sala de laudos, instalações estas consideradas área livre. A área controlada é composta pela radiofarmácia, sala de controle, sala do aparelho PET/CT, sala de máquinas, posto de enfermagem, três banheiros exclusivos para pacientes, quatro boxes de ativação e área de expurgo. O acesso à área controlada só é possível por meio de identificação digital. No 2º andar deste mesmo prédio estão localizados um laboratório de pesquisa e escritórios nos quais os funcionários passam em média oito horas por dia.

Utilizando dosímetros termoluminescentes de fluoreto de lítio dopados com magnésio, cobre e fósforo (LiF:Mg,Cu,P), modelo TLD-100H, calibrados na grandeza equivalente de dose para fótons ( $H_x$ ), cujo limiar de detecção é de  $5 \times 10^{-3}$  mSv, monitorou-se toda a instalação do CIMol e suas adjacências. A calibração dos dosímetros foi realizada no Laboratório de Calibração de Dosímetros do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, instituto de pesquisa integrante da CNEN. A utilização do TLD-100H foi determinada por este ter algumas características vantajosas, entre elas alta sensibilidade à radiação gama, que chega a

ser 40 vezes maior do que outros tipos de detectores termoluminescentes<sup>(6)</sup>.

As medidas de dosimetria ambiental foram obtidas pela exposição dos dosímetros compostos por TLD-100H durante um período de 32 dias consecutivos nos pontos indicados no croqui da instalação do CIMol, como apresentado nas Figuras 1 e 2. Cada ponto foi escolhido com base em sua ocupação por funcionários e indivíduos do público e o nível de radiação foi avaliado com três detectores termoluminescentes, para garantir maior confiabilidade metrológica. Os detectores foram posicionados no interior das instalações, protegidos por um suporte, a 1,4 m de altura, de modo a reproduzir a região mais exposta do tórax de um adulto padrão.

O cálculo da estimativa de dose anual, a partir dos resultados em termos de equivalente de dose para fótons ( $H_x$ ) avaliados no intervalo de 32 dias, foi realizado de acordo com a equação abaixo:

$$H_x \text{ (mSv/ano)} = L_{\text{média}} \text{ (mSv/mês)} \times 12 \text{ (meses/ano)} \\ \times (8 \text{ horas laborais por dia} / 24 \text{ horas de monitoração} \\ \text{por dia}) \times T$$

onde:  $H_x$  é o equivalente de dose para fótons em mSv/ano;  $L_{\text{média}}$  é a média das leituras em mSv; T é o fator de ocupação da área, baseado no tempo de permanência médio de uma pessoa nesse local.

Os resultados de medição foram acompanhados de seus respectivos valores de incerteza padrão expandida e as principais fontes de contribuição consideradas foram a reprodutibilidade das medições (incerteza do tipo A) e as características intrínsecas dos dosímetros, tais como dependências energética e angular, além da incerteza importada da calibração deles. Todos os cálculos foram realizados com base nas recomendações nacionais<sup>(7)</sup>.

Em média, foram realizados 12 exames de PET/CT por semana, número que pode sofrer pequenas variações mensais, porém a média anual não se altera significativamente. Deve-se ressaltar que, após a injeção do radiofármaco, o paciente permanece aproximadamente 50 minutos em um box de ativação, passando rapidamente pelo corredor de circulação interna que dá acesso ao banheiro e equipamento de PET/CT. No banheiro, o paciente permanece aproximadamente 2 minutos e é encaminhado à sala de exame, onde permanece durante 30 minutos, em média, para aquisição da imagem relativa à PET.

Para a aquisição da imagem relativa à CT, são utilizados os parâmetros de 120 kV de tensão, com corrente elétrica modulada (entre 10 e 150 mA) em função das dimensões do paciente e do tipo de exame, espessura de corte que varia em função da região avaliada (0,625 mm a 20 mm) e tempos de corte de 0,5 a 1,0 s.

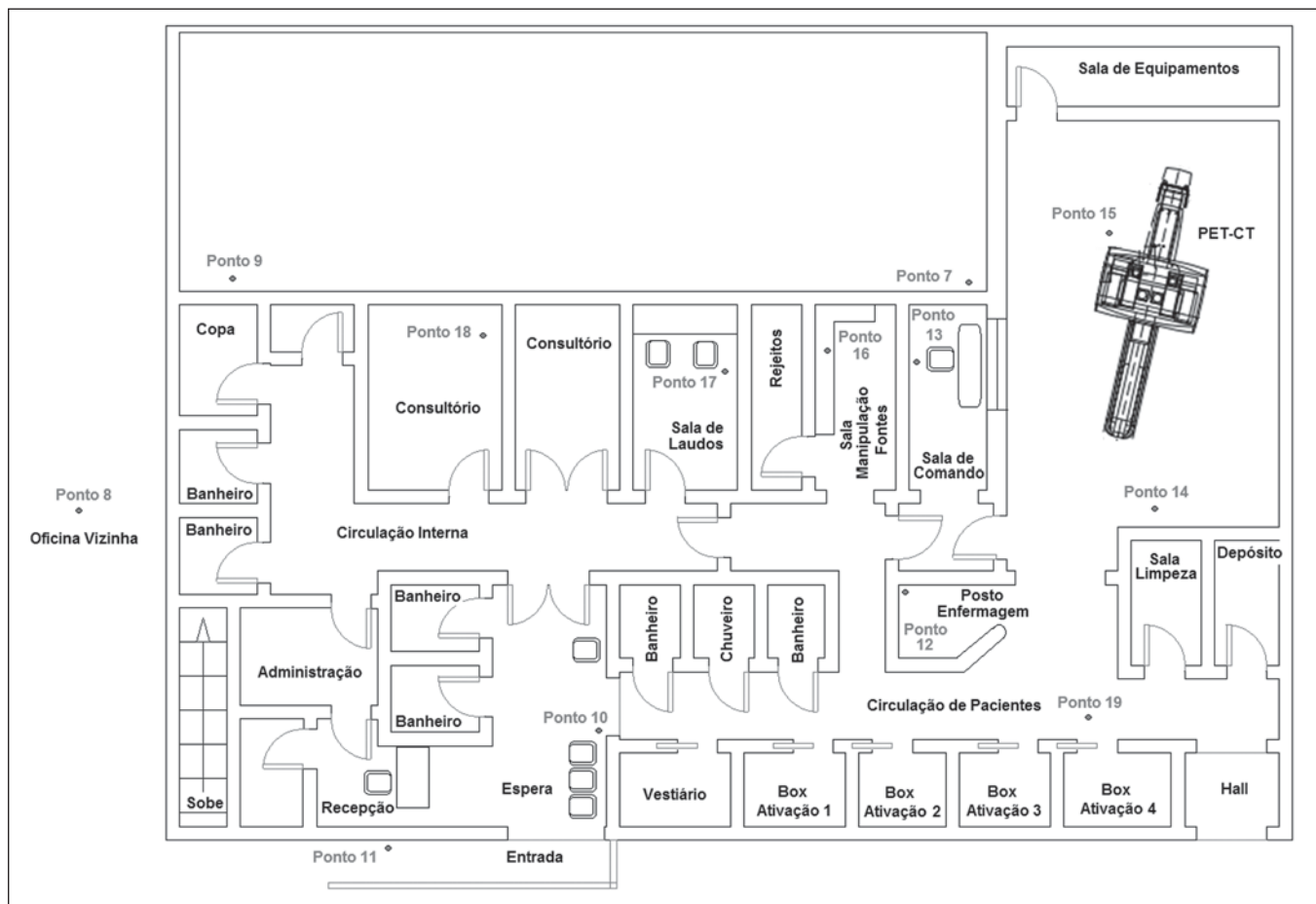


Figura 1. Croqui do primeiro andar do Centro de Tecnologia em Imagem Molecular (CIMol).

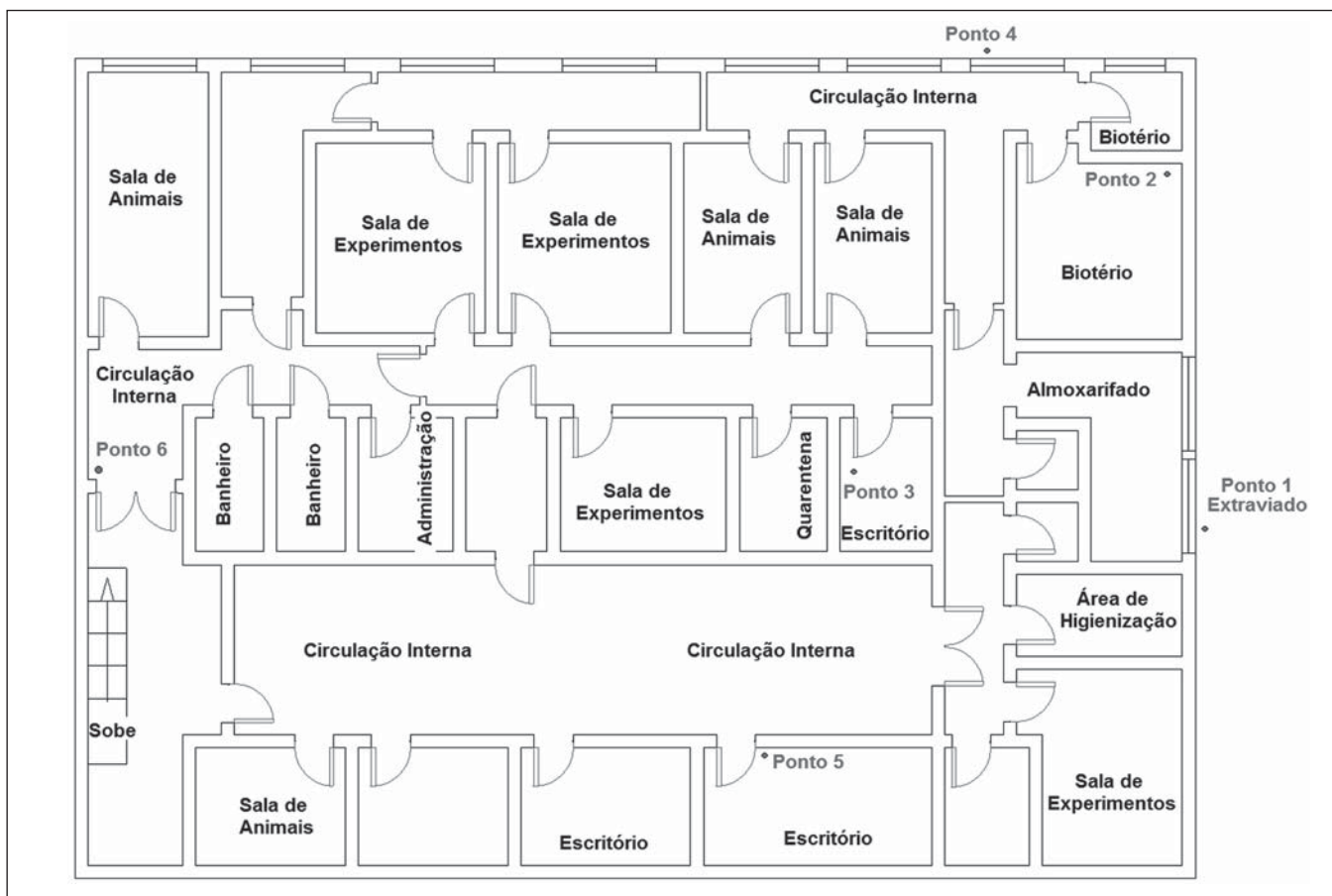


Figura 2. Croqui do segundo andar do Centro de Tecnologia em Imagem Molecular (CIMol).

## RESULTADOS

Após a realização das medidas, calculou-se a dose no ambiente, e a Tabela 1 apresenta os resultados das estimativas anuais de dose externa ( $H_x$ ) para cada ponto monitorado com seus respectivos valores de incerteza de medição.

## DISCUSSÃO

Nos pontos 2, 4, 6, 9 e 11 as estimativas de dose apontaram valores de até 44% do nível de restrição de dose anual para área livre (0,5 mSv/ano). Já os pontos 3, 5, 7, 8, 10, 17 e 18 apresentaram estimativas de dose anual que atingem entre 72% e 87% do nível de restrição de dose anual para área livre. Os resultados obtidos demonstram que as blindagens de tais regiões são adequadas para a demanda atual do serviço. É importante ressaltar que as normas da CNEN (CNEN-NN-3.01 e CNEN-NN-3.05) não definem níveis de restrição de dose para os ambientes de serviço de medicina nuclear, portanto, foram utilizados os níveis de restrição de dose determinados pelo Ministério da Saúde (Portaria 453/98) para serviços de radiodiagnóstico médico. Foram empregados esses níveis, uma vez que são utilizados fótons em uma faixa de energia de menor magnitude e, portanto, os níveis são mais restritivos e a favor da segurança radiológica.

Já nos pontos 12 ao 16 e ponto 19, considerados áreas controladas, as estimativas de dose apresentaram valores de

até 29% do nível de restrição de dose anual para área controlada (5,0 mSv/ano), indicando que estes pontos são adequados em termos de nível radiação e as blindagens, quando aplicáveis, são adequadas para a demanda atual do serviço.

Em todas as avaliações de conformidade em relação aos níveis de restrição de dose foram considerados como resultados do equivalente de dose para fótons em um ano a soma da média das leituras dos dosímetros com seus respectivos valores de incerteza. Deve-se salientar que tanto na avaliação do  $H_x$  quanto na avaliação das incertezas os resultados foram superestimados, de acordo com os princípios de proteção radiológica.

De acordo com os resultados encontrados, pode-se concluir que não existe a necessidade de alteração na estrutura física do serviço, já que em nenhum ponto foram ultrapassados os limites indicados nas normas vigentes. Permite-se ainda, com base no tempo de utilização do equipamento e parâmetros de aquisição de imagem, um aumento de até 10% no número de exames realizados no CIMol.

## CONCLUSÃO

Os resultados da avaliação dos níveis de radiação nas áreas internas e externas ao CIMol demonstram que as estimativas de dose para as áreas estão adequadas em relação às restrições de dose estabelecidas pelo Ministério da Saúde,

**Tabela 1**—Estimativa anual de equivalente de dose para fótons ( $H_e$ ) para cada ponto monitorado.

Ponto	Descrição da blindagem	Material da blindagem	Espessura (cm)	T	Dose medida (mSv)	$H_e$ (mSv/ano)	Incerteza (mSv/ano)	Classificação da área	Parecer final
2	Laje	Concreto armado	26,0	1/4	0,12	0,12	± 0,02	Livre	Adequado
3	Laje	Concreto armado	26,0	1/2	0,15	0,30	± 0,06	Livre	Adequado
4	Laje	Concreto armado	26,0	1/6	0,09	0,06	± 0,01	Livre	Adequado
5	Laje	Concreto armado	26,0	1	0,09	0,36	± 0,07	Livre	Adequado
6	Laje	Concreto armado	12,0	1/6	0,09	0,06	± 0,01	Livre	Adequado
7	Parede	Concreto armado	16,0	1	0,09	0,36	± 0,07	Livre	Adequado
8	Parede (várias)	Concreto armado + alvenaria	4 × 15,0 + 14,0 + 16,0	1/2	0,18	0,36	± 0,07	Livre	Adequado
9	Parede (várias)	Concreto armado + alvenaria	16,0 + 25,0	1/4	0,18	0,18	± 0,04	Livre	Adequado
10	Parede (várias)	Concreto armado	15,0	1	0,09	0,36	± 0,07	Livre	Adequado
11	Parede (várias)	Concreto + alvenaria	15,0 + 15,0	1/16	0,15	0,04	± 0,01	Livre	Adequado
12	Parede	Concreto armado	16,0	1	0,15	0,60	± 0,11	Controlada	Adequado
13	Parede	Vidro plumbífero + concreto armado	3,0 + 16,0	1	0,12	0,48	± 0,10	Controlada	Adequado
14	Não há	—	—	1	0,30	1,2	± 0,24	Controlada	Adequado
15	Não há	—	—	1	0,27	1,08	± 0,22	Controlada	Adequado
16	Biombo fixo	Chumbo + vidro plumbífero + concreto armado	2,0 + 3,0 + 16,0	1	0,18	0,72	± 0,14	Controlada	Adequado
17	Parede	Alvenaria + concreto armado	15,0 + 16,0	1/2	0,18	0,36	± 0,07	Livre	Adequado
18	Parede (várias)	Alvenaria + concreto armado	15,0 + 16,0	1/2	0,15	0,30	± 0,06	Livre	Adequado
19	Parede	Concreto armado	16,0	1	0,15	0,60	± 0,12	Controlada	Adequado

uma vez que a legislação da CNEN não apresenta tais valores para serviços de medicina nuclear. Todos os pontos foram considerados satisfatórios, mostrando que as blindagens são adequadas nas áreas livres e controladas, permitindo, ainda, um aumento de aproximadamente 10% na quantidade de exames realizados.

Deve ser ressaltada a importância de se seguir rigorosamente os princípios de radioproteção, já que se trata de um serviço com fontes radioativas não seladas.

#### REFERÊNCIAS

1. Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Diretrizes básicas de proteção radiológica. CNEN-NN-3.01, de 1º de setembro de 2011.
2. Adad MCBT, Hoff G, Streck EE, et al. Curvas de isodose no ar em uma sala de mamografia. *Radiol Bras.* 2008;41:255–8.
3. Avila O, Torres-Ulloa CL, Medina LA, et al. TL measurement of ambient dose at a nuclear medicine department. *Radiation Measurements.* 2011;46:1843–6.
4. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Diretrizes de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico. Portaria nº 453, de 1º de junho de 1998.
5. Madsen MT, Anderson JA, Halama JR, et al. AAPM Task Group 108: PET and PET-CT shielding requirements. *Med Phys.* 2006;33:4–15.
6. Oliveira ML, Maia AF, Nascimento NCES, et al. Influência da dependência energética de dosímetros termoluminescentes na medida da dose na entrada da pele em procedimentos radiográficos. *Radiol Bras.* 2010;43:113–8.
7. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Avaliação de dados de medição: guia para a expressão de incerteza de medição – GUM 2008. 1ª ed. Duque de Caxias, RJ: Inmetro/Ciema/Se-pin; 2012.