

# Estudo da dose de radiação absorvida em indivíduo ocupacionalmente exposto em serviços de PET-CT

## Study of absorbed radiation dose in an occupationally exposed individual in PET-CT services

Nelson R. Braga<sup>1</sup>, Araken S. W. Rodrigues<sup>1</sup><sup>1</sup>Universidade de Brasília, Faculdade de Ceilândia, Brasília, Brasil

### Resumo

Ações visando a minimização da exposição à radiação e proteção vêm sendo adotadas, dentre elas a utilização de blindagens plumbíferas. A tecnologia de tomografia por emissão de pósitrons (PET) foi desenvolvida utilizando um radioisótopo emissor de pósitrons, <sup>18</sup>F, que emite radiação gama de energia de 511 keV. A interação dessa radiação com o chumbo emite raios X característicos. O uso da proteção plumbífera por parte do indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE) é mais danoso ao organismo, por possibilitar mais efeitos deletérios. Este estudo analisa os níveis das doses de radiações absorvidas por raios X e gama em IOEs em serviços PET-CT. O método foi dividido em dois momentos: no primeiro as aquisições foram realizadas sem o avental de proteção plumbífera e, no segundo, com o avental. Esse procedimento foi realizado em duas etapas, a primeira etapa com uma fonte de <sup>18</sup>F-FDG e na segunda de <sup>137</sup>Cs. Para o <sup>18</sup>F-FDG as médias obtidas foram (0,044 ± 0,017) sem o uso do avental e (0,054 ± 0,017) com o uso do avental. As médias das radiações têm os valores de (95 ± 3)% para radiação  $\gamma$  e (5 ± 3)% para raios X. Para o <sup>137</sup>Cs foram obtidas as médias de (2,7 ± 0,8) sem o uso do avental e (2,8 ± 0,8) com o uso do avental. A média das radiações têm os valores de (65 ± 8)% para radiação  $\gamma$  e (35 ± 8)% para raios X. Apesar dos níveis elevados de radiação na manipulação e administração do <sup>18</sup>F-FDG para exames de imagem PET-CT, não é recomendado o uso de avental de proteção plumbífera pelos IOEs, em virtude da produção de raios X característico devido ao efeito fotoelétrico que ocorre decorrente das interações dos raios  $\gamma$  de alta energia com os átomos de chumbo.

**Palavras-chave:** proteção radiológica; medicina nuclear; IOE; <sup>18</sup>F-FDG; PET-CT.

### Abstract

Actions aimed at minimizing radiation exposure and protection have been adopted, including the use of lead shields. Positron emission tomography (PET) technology was developed using an <sup>18</sup>F positron emitting radioisotope that emits 511 keV energy gamma radiation. The interaction of this radiation with lead emits characteristic X-rays. The use of lead protection by the occupationally exposed individual (IOE) is more harmful to the organism, as it enables more deleterious effects. This study analyzes gamma and X-ray radiation dose levels in IOEs at PET-CT services. The method was divided in two moments: in the first, the acquisitions were made without the lead apron protection and, in the second, with the apron. This procedure was performed in two steps, the first step with an <sup>18</sup>F-FDG source and the second with <sup>137</sup>Cs. For the <sup>18</sup>F-FDG the means obtained were (0.044 ± 0.017) without the apron and (0.054 ± 0.017) with the apron. Radiation averages have values of (95 ± 3)% for  $\gamma$  radiation and (5 ± 3)% for x-rays. For <sup>137</sup>Cs, averages of (2.7 ± 0.8) were obtained without the use of the apron and (2.8 ± 0.8) with the use of the apron. Radiation mean values are (65 ± 8)% for  $\gamma$  radiation and (35 ± 8)% for x-rays. Despite the high levels of radiation in the handling and administration of <sup>18</sup>F-FDG for PET-CT imaging, the use of lead shield aprons by IOEs is not recommended because of the characteristic x-ray production due to the photoelectric effect that occurs due to the interactions of high energy  $\gamma$ -rays with lead atoms.

**Keywords:** radiation protection; nuclear medicine; IOE; <sup>18</sup>F-FDG; PET-CT.

## 1. Introdução

O indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE), em medicina nuclear, consiste no sujeito exposto em condição normal ou potencial em decorrência do seu trabalho ou treinamento, através de práticas ou intervenções à radiação ionizante<sup>1</sup>. A radiação ionizante consiste em uma onda eletromagnética com alta energia capaz, de ao interagir com a matéria, ioniza-la, ou seja, quebrar as ligações químicas fazendo com que se tornem elétrons livres, passando a se movimentar de maneira a transferir energia a outros átomos, situação essa chamada de radiação ionizante secundária<sup>1</sup>. Neste estudo, o IOE em questão estará submetido à radiação proveniente do <sup>18</sup>F-FDG, um radiofármaco para diagnóstico em exames de PET/CT<sup>2</sup>. Assim sendo, esse estudo visa verificar os níveis de raios X produzidos devido ao

efeito fotoelétrico quando o IOE está exposto à radiação ionizante usando o avental de proteção plumbífera.

O IOE engloba um grupo de pessoas que no desempenho de suas funções profissionais, de modo permanente ou temporário, estão sujeitos à radiação.

No contexto atual da realização dos exames PET/CT, os IOEs seriam representados por grupos diversificados de profissionais dentre alguns deles temos:

- Físico médico – é um profissional que supervisiona os procedimentos necessários a realização do Exame PET-CT e a preparação do <sup>18</sup>F-FDG.
- Farmacêutico – é responsável por preparar o <sup>18</sup>F-FDG para realização do exame de PET-CT.
- Enfermeiro – realiza entrevista prévia dos pacientes, administração do radiofármaco <sup>18</sup>F-FDG no paciente, condução do paciente a sala de repouso e

posteriormente à do PET-CT, retirada e dispensa dos materiais utilizados na manipulação do  $^{18}\text{F}$ -FDG.

- Técnico – realiza os procedimentos relativos a aquisição de imagens no equipamento de PET/CT.
- Médico – analisa as imagens coletadas durante o exame, emite relatórios diagnósticos e supervisiona os procedimentos realizados pelos enfermeiros.

Esses profissionais seriam os IOEs mais diretamente expostos à radiação ionizante na realização dos exames  $^{18}\text{F}$ -FDG/PET-CT. No entanto, toda e qualquer outra pessoa que desempenha alguma função nas clínicas de imagens são considerados IOEs, porém, com menor grau de exposição<sup>3</sup>.

Um efeito esperado devido à interação da radiação com a matéria é o fotoelétrico, que se caracteriza por ser um efeito onde há transferência de energia de um fóton a um elétron, fazendo com que este se desprenda de sua órbita e se movimente com certa energia cinética. O efeito se torna mais evidente em elementos com elevado número atômico, como por exemplo, o chumbo, com energia do fóton menor do que 600 keV<sup>6</sup>.

A Fluorodeoxiglicose ( $^{18}\text{F}$ -FDG) é um radiofármaco utilizado como marcador, sem ação farmacológica e por ser análogo da glicose é capaz de avaliar o metabolismo tumoral benigno ou maligno em exames de PET/CT. Em caso de tumores malignos consegue-se graduar, monitorar e verificar as alterações apresentadas durante o tratamento<sup>8</sup>.

Ao observar e comparar o FDG com a molécula de glicose verifica-se que suas estruturas se diferem na troca do grupo hidroxila pelo  $^{18}\text{F}$ . No geral, utiliza-se esse radiofármaco em exames PET/CT, com atividade de, em média, 10 mCi. Sua meia-vida é 110 minutos, com decaimento por emissão de pósitrons ( $\beta^+$ ) gerando radiação gama ao ser aniquilado, com alto grau de penetração e detectáveis ao sair dos órgãos<sup>2,10</sup>.

A exposição às radiações ionizantes requer estudo para que se possa precaver dos malefícios gerados. As diretrizes básicas de proteção radiológica (DBPR), vieram normatizar todas situações envolvendo radiações e as proteções devidas, incluindo assim, o limiar de doses permitidos. No Brasil, quem executa esse papel é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), uma autarquia federal vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.

Quando se trata sobre proteção radiológica leva-se em consideração medidas necessárias para proteger os IOEs e o ecossistema dos efeitos das radiações ionizantes. Para tal, é analisado o tipo de fonte, as radiações envolvidas, as interações e os riscos de contaminações. Essas análises são feitas de modo qualitativo e quantitativo realizando um monitoramento por meio dos instrumentos de medidas, uso e aprimoramento dos protocolos durante exposição a radiação ionizante<sup>13</sup>.

A partir desses princípios criou-se uma cultura de segurança que leva em consideração vários fatores norteadores. Dentre esses fatores temos: estrutura adequada do local onde se trabalha com essas radiações, obediência aos protocolos de proteção

radiológica, execução cuidadosa e cautelosa dos procedimentos estabelecidos nos protocolos, treinamento, engajamento e sintonia entre os IOE'S envolvidos, buscando assim, uma consciência coletiva de segurança<sup>14</sup>.

Um fator preponderante para proteção radiológica é a justificativa cabível e necessária, aceita pelas regras da CNEN, que gere benefícios aos indivíduos que receberão a radiação ionizante. Com isso a proteção tem por objetivo prevenir e reduzir os efeitos somáticos, para tal se analisa as doses acumuladas em um período de alguns anos.

Otimizar o processo também é muito importante e relevante sempre primando por doses tão baixas quanto razoavelmente exequíveis, As *Low As Reasonably Achievable* (ALARA), evitando assim exposição desnecessária e quando for imprescindível que o menor número de pessoas se submeta a radiação<sup>15</sup>.

Os controles dessas dosagens são feitos, prevenindo e administrando o tempo de exposição e distância da fonte, porém se faz necessário uma blindagem do local de manipulação. Isso pode ser feito com colimadores, biombo de chumbo, aventais com proteção plumbífera e óculos<sup>5, 6, 11, 16</sup>.

## 2. Materiais e Métodos

O método desenvolvido na pesquisa foi dividido em dois momentos: no primeiro as aferições eram feitas sem o avental de proteção plumbífera e, no segundo, com o avental de proteção plumbífera. A captação dos dados se deu em duas etapas. Nas duas etapas foram utilizados os mesmos materiais, descritos abaixo, com exceção da fonte radioativa que na primeira etapa foi utilizada uma de  $^{18}\text{F}$ -FDG e na segunda de  $^{137}\text{Cs}$ . Os materiais comuns foram:

- Um manequim de tronco simulando o IOE que estaria exposto à radiação (fantoma).
- Um avental de proteção plumbífera da marca KONEX, com referência: PFAMS5AZO2, lote: 000243, SN: 010553, ABNT NBR IEC 61331-3:2004, Registro MS N° 10358460005, com 0,5 Pb na parte anterior e 0,25 Pb na parte posterior.
- Oito dosímetros SAPRA OSL por mês.

Na primeira etapa as medidas foram realizadas no serviço de Medicina Nuclear do HFA (Hospital das Forças Armadas de Brasília) com uma fonte de  $^{18}\text{F}$ -FDG com atividade de 10 mCi. Foram verificadas evidências de dosagens diferentes absorvidas pelos dosímetros sem e com a proteção do avental plumbífero, como pode ser observado nos resultados e na discussão. Essa etapa foi realizada do seguinte modo:

1. Transporte da dose de  $^{18}\text{F}$ -FDG da farmácia do HFA, local esse que a mesma era diluída e medida sua atividade, posteriormente fixada num aparato de metal, como mostra a Figura 1. A proteção da seringa (*Syringe Shield*) é utilizada para reduzir a dose de radiação absorvida pelas mãos dos IOEs<sup>22</sup>.

**Figura 1 - Syringe Shield**



2. Fixação dos dosímetros com numeração ímpar no fantoma para absorção direta da radiação, sem avental plumbífero, proveniente da fonte de  $^{18}\text{F-FDG}$  a 50 cm de distância, como mostra a Figura 2, durante um período de 3 minutos.

**Figura 2 -** Simulação da captação da radiação sem passar pelo avental de proteção plumbífero.



3. Fixação dos dosímetros com numeração par no fantoma para absorção da radiação proveniente da fonte de  $^{18}\text{F-FDG}$  a 50 cm de distância, utilizando o avental plumbífero, durante um período de 3 minutos (Figura 3).

**Figura 3 -** Simulação da captação da radiação passando pelo avental de proteção plumbífero.



A segunda etapa da pesquisa foi realizada nas dependências do campus da FCE/UnB, utilizando o  $^{137}\text{Cs}$ , com atividade de 194  $\mu\text{Ci}$ , com 24 dias de exposição. Com esse tempo de exposição foi possível detectar os níveis e percentuais de raios X produzidos pelo efeito fotoelétrico, como pode ser observado nos resultados e na discussão.

Essa etapa foi realizada do seguinte modo:

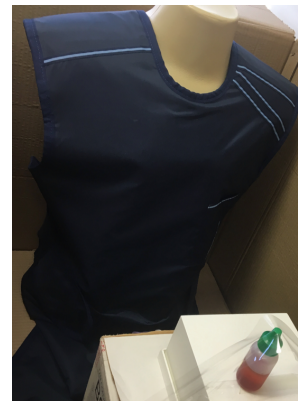
1. Fixação da dose de  $^{137}\text{Cs}$ , com atividade de 194  $\mu\text{Ci}$ , com 24 dias a 30 cm dos dosímetros colocados no fantoma, sem proteção do avental plumbífero.

**Figura 4 -** Visão frontal da fonte de Césio e do fantoma sem o avental.



2. Fixação da dose de  $^{137}\text{Cs}$ , com atividade de 194  $\mu\text{Ci}$ , com 24 dias a 30 cm dos dosímetros colocados no fantoma, com proteção do avental plumbífero.

**Figura 5 -** Visão frontal da fonte de Césio e do fantoma com o avental.



### 3. Resultados

Como mencionado anteriormente, a detecção dos raios X característicos, produzidos em decorrência do efeito fotoelétrico, devido à interação da radiação gama com o avental de proteção plumbífero, foi realizada em duas etapas. Essas, por sua vez, produziram resultados com valores diferentes, devido à diferença entre os procedimentos, porém não conflitantes.

A Tabela 1 apresenta cinco medidas de doses coletadas na primeira etapa da pesquisa e foram as realizadas no HFA utilizado o  $^{18}\text{F-FDG}$  com atividade de 10 mCi. Não foi possível uma regularidade nos dias de medições, nem um tempo elevado, pois o radiofármaco seria administrado aos pacientes na sequência. No entanto, a cada dia de medição, os dosímetros ímpares foram expostos durante, aproximadamente, 3 minutos (sem o avental de proteção plumbífero) e os pares também por

aproximadamente 3 minutos, só que com o avental de proteção plumbífera.

**Tabela 1** - Valores de doses coletados, com e sem o avental de proteção plumbífera, na 1ª etapa da pesquisa

DIA	DOSÍMETRO SEM AVENTAL, ÍMPAR. ( $\mu\text{Sv}$ )	DOSÍMETRO COM AVENTAL, PAR. ( $\mu\text{Sv}$ )
1º	30 $\pm$ 5	36 $\pm$ 5
2º	30 $\pm$ 5	44 $\pm$ 5
3º	70 $\pm$ 5	80 $\pm$ 5
4º	50 $\pm$ 5	60 $\pm$ 5
5º	40 $\pm$ 5	50 $\pm$ 5

Fonte: SAPRA.

A Tabela 2 apresenta os dados estatísticos referentes às doses, onde se tem cinco amostras sem o uso do avental e cinco com o uso do avental (N = 5). Nesse contexto, a média das doses absorvidas sem e com avental de proteção plumbífera, foi de (44  $\pm$  17)  $\mu\text{Sv}$  sem o uso do avental e (54  $\pm$  17)  $\mu\text{Sv}$  com o uso do avental. Esses dados são relativamente pequenos em comparação à média, o que significa pouca variação, ou seja, os dados reais se encontram próximos aos valores da média.

A Tabela 2 também apresenta a estatística teste principal onde apresenta alguns testes a serem analisados. O teste *Levene* com dados apresentados tendo  $p = 1,0$ ,  $p > 0,05$ , o que implica que o teste não é significativo, pois não apresenta diferenças significativas entre as variações das amostras, contendo homogeneidade entre as variações. O teste *t* apresentou valor de  $-0,938$  com significância unilateral 0,188, o que se apresenta com valor maior que 5% ( $p > 0,05$ ) e possibilidade de variância próximo a 18 %, o tamanho do efeito  $r = 0,29$ , o que representa a possibilidade próxima de 9% na variância total significativa, com diferença média de 0,154 entre as doses.

**Tabela 2** – Resumo estatístico das doses coletadas, com e sem o avental de proteção plumbífera, no fantoma com fonte de  $^{18}\text{F}$ -FDG e 10 mCi

	Dosímetros	N	Média( $\mu\text{Sv}$ )	Desvio Padrão( $\mu\text{Sv}$ )
Doses	Sem proteção plumbífera	5	44	17
	Com proteção plumbífera	5	54	17
Testes	Teste <i>Levene</i>			$p = 1,0$
	Teste <i>t</i>			$t = -0,938$
	Significância bilateral			$p = 0,376$
	Diferença média			$p = 0,154$

Fonte: O Autor.

A Tabela 3 apresenta doses coletadas na segunda etapa da pesquisa realizada na FCE/UnB com a fonte de  $^{137}\text{Cs}$  durante 24 dias de exposição ininterruptas no primeiro momento para os dosímetros ímpares e posteriormente os pares, conforme as Figuras 5 e 6. Nessa situação as doses foram maiores que 1 mSv, tornando possível que a leitora do Laboratório de dosimetria da SAPRA determinasse o espectro de radiação apresentado em cada um dos dosímetros. Esses valores foram maiores em decorrência da

distância entre os dosímetros e a fonte ter sido reduzida para 30 cm, situação feita para não correr o risco de ser insuficiente a dose aferida para determinação do espectro de radiação eletromagnética.

**Tabela 3** - Valores de doses coletados na 2ª etapa da pesquisa.

DOSÍMETRO	DOSÍMETRO SEM AVENTAL, ÍMPAR. (mSv)	DOSÍMETRO COM AVENTAL, PAR. (mSv)
1	2,600 $\pm$ 0,005	-
2	-	2,800 $\pm$ 0,005
3	2,700 $\pm$ 0,005	-
4	-	2,700 $\pm$ 0,005
5	2,700 $\pm$ 0,005	-
6	-	2,900 $\pm$ 0,005
7	2,700 $\pm$ 0,005	-
8	-	2,800 $\pm$ 0,005

Fonte: SAPRA.

A Tabela 4 apresenta os dados estatísticos referentes as doses da Tabela 4, onde se tem quatro amostras sem o uso do avental e quatro com o uso do avental (N = 4). Nesse contexto é relatado sobre a média das doses absorvidas sem e com avental de proteção plumbífera. A média apresenta valor de 2,7 mSv para sem o uso do avental e 2,8 mSv com o uso do avental. O desvio padrão sem o avental foi de 0,5 e com o avental 0,8. Com essas informações a representação das médias deveriam ser: (2,7  $\pm$  0,5) mSv, sem o uso do avental e (2,8  $\pm$  0,8) mSv, com o uso do avental de proteção plumbífera.

A Tabela 4 também apresenta a estatística teste principal com teste *Levene* com  $p = 0,705$ ,  $p > 0,05$ , o que implica que o teste não é significativo, pois não apresenta diferenças significativas nas variações das amostras. O teste *t* apresentou valor de  $-2,611$ , com significância unilateral de 0,02 e com o tamanho do efeito  $r = 0,72$ , o que representa ter mais de 50% de variância total significativa, com diferença média de 0,125 entre as doses.

**Tabela 4** – Resumo estatístico das doses coletadas, com e sem o avental de proteção plumbífera, no fantoma com fonte de  $^{137}\text{Cs}$  e 194  $\mu\text{Ci}$

	Dosímetros	N	Média	Desvio Padrão
Doses	Sem proteção plumbífera	4	2,7	0,5
	Com proteção plumbífera	4	2,8	0,8
Testes	Teste <i>Levene</i>			$p = 0,705$
	Teste <i>t</i>			$t = -2,611$
	Significância bilateral			$p = 0,04$
	Diferença média			$p = 0,125$

Fonte: O Autor.

Os resultados que serão apresentados a seguir são muito significativos para a compreensão de que se ocorre ou não a produção de raios X característico. As Tabelas 5, 6, 7 e 8, nos mostram os percentuais e o espectro das radiações absorvidas pelos

dosímetros ímpares de forma direta, ou seja, sem passar pelo avental de proteção plumbífera.

Na Tabela 5 foi aferido que a dose de 2,6 mSv apresenta 2,4 mSv (92 % da radiação) na forma de radiação gama e 0,2 mSv (8% da radiação) sendo raios X.

**Tabela 5** – Espectro e percentual das doses absorvidas pelo dosímetro 1, na segunda etapa sem o avental de proteção plumbífera.

DOSE	2,6 mSv.
Raios $\gamma$ Alta Energia	92 %.
Raios X 82 keV	7 %.
Raios X 64 keV	1 %.

Fonte: SAPRA

Na Tabela 6 foi aferido que a dose de 2,7 mSv apresenta 2,6 mSv (96 % da radiação) na forma de radiação gama e 0,1 mSv (4% da radiação) sendo raios X.

**Tabela 6** - Espectro e percentual das doses absorvidas pelo dosímetro 3, na segunda etapa sem o avental de proteção plumbífera.

DOSE	2,7 mSv.
Raios $\gamma$ Alta Energia	96 %.
Raios X 82 keV	4 %.
Raios X 64 keV	-

Fonte: SAPRA

Na Tabela 7 foi aferido que a dose de 2,7 mSv apresenta 2,6 mSv (98 % da radiação) na forma de radiação gama e 0,05 mSv (2% da radiação) sendo raios X.

**Tabela 7** - Espectro e percentual das doses absorvidas pelo dosímetro 5, na segunda etapa sem o avental de proteção plumbífera.

DOSE	2,7 mSv.
Raios $\gamma$ Alta Energia	98 %.
Raios X 82 keV	2 %.
Raios X 64 keV	-

Fonte: SAPRA

Na tabela 8 foi aferido que a dose de 2,7 mSv apresenta 2,6 mSv (95 % da radiação) na forma de radiação gama e 0,1 mSv (5% da radiação) sendo raios X.

**Tabela 8** - Espectro e percentual das doses absorvidas pelo dosímetro 7, na segunda etapa sem o avental de proteção plumbífera.

DOSE	2,7 mSv.
Raios $\gamma$ Alta Energia	95 %.
Raios X 82 keV	4 %.
RAIO - X 64 keV	1 %.

Fonte: SAPRA

A Tabela 9 apresenta os dados estatísticos referentes aos percentuais do espectro apresentado nas Tabelas 5, 6, 7 e 8 onde se tem quatro amostras sem o uso do avental (N = 4). Nesse contexto é relatado sobre a média das doses absorvidas, pelo IOE, sem avental de proteção plumbífera. A média apresentada tem o valor de 95 % para radiação  $\gamma$  e 5 % para raios X, com desvios padrão de 3%; isso implica que as representações das médias deveriam ser:  $95 \pm 3$  % para radiação  $\gamma$  e  $5 \pm 3$  % para raios X. O teste *Levene* apresenta  $p = 1,0$  contendo homogeneidade entre as variações, com diferença significativa de 90,5 % entre as radiações gama e x.

**Tabela 9** - Resumo estatístico dos percentuais das radiações absorvidas pelos dosímetros ímpares sem o avental de proteção plumbífera.

	Radiação	N	Média	Desvio Padrão
Percentual	Radiação $\gamma$	4	95 %	3 %
	Raios X	4	5 %	3 %
Testes	Teste <i>Levene</i>			$p = 1,00$
	Diferença média			$p = 90,50$

As Tabelas 10, 11, 12 e 13 nos mostram os percentuais e o espectro das radiações absorvidas pelos dosímetros pares passando pelo avental de proteção plumbífera.

Na Tabela 10 foi aferido que a dose de 2,8 mSv apresenta 1,9 mSv (69 % da radiação) na forma de radiação gama e 0,9 mSv (31 % da radiação) sendo raios X.

**Tabela 10** - Espectro e percentual das doses absorvidas pelo dosímetro 2, na segunda etapa com o avental de proteção plumbífera.

DOSE	2,8 mSv.
Raios $\gamma$ Alta Energia	69 %.
Raios X 82 keV.	24 %.
Raios X 64 keV.	7 %.

Fonte: SAPRA

Na Tabela 11 foi aferido que a dose de 2,7 mSv apresenta 1,5 mSv (55 % da radiação) na forma de radiação gama e 1,2 mSv (45% da radiação) sendo raios X.

**Tabela 11** - Espectro e percentual das doses absorvidas pelo dosímetro 4, na segunda etapa com o avental de proteção plumbífera.

DOSE	2,7 mSv.
Raios $\gamma$ Alta Energia	55 %.
Raios X 82 keV.	40 %.
Raios X 64 keV	5 %.

Fonte: SAPRA

Na Tabela 12 foi aferido que a dose de 2,9 mSv apresenta 2,1 mSv (73 % da radiação) na forma de radiação gama e 0,8 mSv (27% da radiação) sendo raios X.

**Tabela 12** - Espectro e percentual das doses absorvidas pelo dosímetro 6, na segunda etapa com o avental de proteção plumbífera.

DOSE	2,9 mSv.
Raios $\gamma$ Alta Energia	73 %.
Raios X 82 keV	27 %.
Raios X 64 keV	0 %.

Fonte: SAPRA

Na Tabela 13 foi aferido que a dose de 2,8 mSv apresenta 1,8 mSv (63 % da radiação) na forma de radiação gama e 1,0 mSv (37% da radiação) sendo raios X.

**Tabela 13** - Espectro e percentual das doses absorvidas pelo dosímetro 8, na segunda etapa com o avental de proteção plumbífera.

DOSE	2,8 mSv.
RAIO – $\gamma$ Alta Energia	63 %.
RAIO – X 82 keV.	30 %.
RAIO – X 64 keV.	7 %.

Fonte: SAPRA

A Tabela 14 apresenta os dados estatísticos referentes aos percentuais do espectro apresentado nas Tabelas 10, 11, 12 e 13 onde se tem quatro amostras sem o uso do avental (N = 4). Nesse contexto é relatado sobre a média das doses absorvidas, pelo IOE, com avental de proteção plumbífera. A média apresentada tem o valor de 65 % para radiação  $\gamma$  e 35 % para raios X. Seus desvios padrão foram 7,832, isso implica que as representações das médias deveriam ser:  $65 \pm 8$  % para radiação  $\gamma$  e  $35 \pm 8$  % para raios X. O teste *Levene* apresenta  $p = 1,0$  contendo homogeneidade entre as variações, com diferença significativa de 30 entre as radiações gama e X.

**Tabela 14** - Resumo estatístico dos percentuais das radiações absorvidas pelos dosímetros pares com o avental de proteção plumbífera.

	Radiação	N	Média	Desvio Padrão
Percentual	Radiação $\gamma$	4	65 %	8 %
	Raios X	4	35 %	8 %
Testes	Teste <i>Levene</i>			$p = 1,00$
	Diferença média			$p = 30,00$

#### 4. Discussão

Na primeira etapa, dados da Tabela 1, observa-se que nas medições realizadas no mesmo dia, com a fonte  $^{18}\text{F}$ -FDG de 10 mCi pelo período de 3 minutos, as doses aferidas apresentam média de  $44 \pm 17$  mSv, sem o avental e  $54 \pm 17$  mSv, com o avental, sendo superiores aos dados de Cao (2003).

Analisando as Tabelas 1 e 2 verifica-se que os valores medidos estão muito próximos aos da média, com erro mostrando pouca variabilidade das doses absorvidas. Os grupos, sem avental e com avental, apresentam homogeneidade de variação das amostras entre si. Isso quer dizer que os dosímetros pares, colocados embaixo do avental de proteção plumbífera, podem apresentar valores de doses maiores dos que foram atingidos diretamente pela radiação, ou seja, que estavam sem avental, dosímetros ímpares. No entanto, pela proximidade dos valores obtidos e levando em consideração os erros, não há diferenças significativas entre a quantidade de doses absorvidas.

A segunda etapa não foi realizada para confrontar a primeira, mas sim aumentar os argumentos dos efeitos já observados. Ao analisarmos os dados das Tabelas 3 e 4, as médias apresentadas são bem maiores do que da primeira etapa,  $2,7 \pm 0,5$  mSv, sem o uso do avental e  $2,8 \pm 0,8$  mSv, com o uso do avental. Uma similaridade com a primeira etapa, porém com valores mais expressivos.

Com um maior rigor na análise e lembrando de como fora realizado o experimento, situação apresentada nas Figuras 4 e 5, as conclusões voltam a ser as mesmas. Quando a literatura afirma que o efeito fotoelétrico será produzido gerando raios X característico, essa radiação se espalha por toda a região, ou seja, sua propagação se deu em todas as direções e não de maneira orientada.

Nas Tabelas 5, 6, 7 e 8, todos apresentam radiação gama em grande quantidade e pouco raios X. Ao analisar estatisticamente, Tabela 9, verifica-se que há uma homogeneidade entre as radiações absorvidas pelos dosímetros e quantidades muito diferentes entre a radiação gama e raios X. Na maioria dos casos a quantidade de raios X captada foi inferior a 5 %, o que pode se considerar com pouco significativo para esse grupo da amostra.

Já nas Tabelas 10, 11, 12 e 13 os percentuais e o espectro são das radiações absorvidas pelos dosímetros pares, que passam pelo avental de proteção plumbífera. Essa situação apresenta radiação gama, alta energia, afinal, mesmo com o avental de proteção plumbífera, essa radiação não será bloqueada totalmente, ela possui ainda capacidade de atravessar o avental, porém em menos percentual, bem como o IOE sem causar nenhum dano aparente até então estudado. Foi constatado também a presença significativa de raios X, com percentuais captados com 64 keV e 82 keV, faixa essa que se enquadra no que fora relatado por Eisberg e Resnick (1974), em relação à produção de raios X característico produzido pelo avental de chumbo. A Tabela 14 mostra a análise estatística onde ocorre homogeneidade das amostras entre si e quantidades significativamente diferentes, mas com valores apreciáveis e consideráveis de radiação gama e de raios X.

O estudo apresenta dados significativamente relevantes e diferentes ao comparar os percentuais de radiações, gama e raios X, que foram detectados pelos dosímetros sem e com o avental de proteção

plumbífera. Analisando as Tabelas 9 e 14 verifica-se uma diferença significativa entre as médias percentuais das radiações absorvidas pelos dosímetros ímpares e pares, ou seja, sem e com o avental de proteção plumbífera.

Pela análise dos dados coletados, a quantidade média de dose absorvida pelos dosímetros fixados no fantoma não é alterada. Isto pode ser justificado pelo fato do avental de proteção, feito de um material equivalente a 0,5 mm de chumbo, ter atenuado, simultaneamente, a passagem de radiação gama, oriunda da aniquilação do pósitron com o elétron, e produzido dose equivalente de raios X característico. O que implica inferir que foi mantido os valores das doses, ou seja, sem diferenças significativas em quantidades totais, porém com tipos de radiações diferentes. Sem o avental de proteção plumbífera a média captada foi de:  $(95 \pm 3) \%$  para radiação  $\gamma$  e  $(5 \pm 3) \%$  para raios X, enquanto com o avental a média é diferente e vale:  $(65 \pm 8) \%$  para radiação  $\gamma$  e  $(35 \pm 8) \%$  para raios X. Isto posto, conclui-se que os dados são qualitativamente diferentes em relação às radiações eletromagnéticas medidas nos dosímetros pares e ímpares.

## 5. Conclusões

O objetivo desse trabalho foi analisar a eficiência dos aventais de proteção plumbífera os níveis, comparando as doses e o espectro das radiações absorvidas, raios X e gama, por indivíduos ocupacionalmente expostos em serviços de  $^{18}\text{F}$ -FDG/PET-CT.

A análise dos resultados nas duas etapas corroborou com nossa proposta, que a ação das radiações gama de alta energia provenientes das aniquilações e posterior interação com átomos de chumbo do avental de proteção produz raios X característicos. Esta radiação é mais prejudicial aos IOEs em comparação à radiação gama que o atravessa quando não utiliza avental de proteção plumbífera. Comparamos nossos resultados com a literatura e a simulação computacional de Fonseca, Amaral & Campos (2012), o que mostrou coerência entre ambos, ratificando nosso trabalho.

Ao fazermos as comparações observamos que os dosímetros pares, que captaram radiação gama e raios X característico produzido pelo avental de proteção plumbífera, apresentam maior contagem de fótons em comparação aos ímpares que tiveram a captação direta, ou seja, sem o avental. Essa situação se explica pelo efeito fotoelétrico produzido na liberação de elétrons e as sucessivas demãos de elétrons mais externos, liberando energia na faixa dos raios X entre 64 e 82 keV. Mesmo que a quantidade total das doses absorvidas entre os dosímetros ímpares e pares não tenha sido significativamente diferente, afinal, ocorreu uma compensação quase igualitária entre a diminuição de radiação gama e raios X aferido pelos dosímetros.

Apesar dos níveis elevados de radiações envolvidas, durante a manipulação e administração do  $^{18}\text{F}$ -FDG para exames de imagem PET/CT não é recomendado o uso de avental de proteção

plumbífera pelos IOEs, em virtude da produção de raios X característico pelo efeito fotoelétrico ocorrido no átomo de chumbo.

A radiação gama emitida pelo radiofármaco  $^{18}\text{F}$ -FDG possui alta energia e passará pelos corpos dos IOEs sem causar nenhum dano considerável, afinal a taxa de absorção é muito pequena para esse tipo de radiação.

Essa situação não será a mesma caso a radiação analisada seja raios X característico produzido pelo avental. Esse nível de energia é muito absorvido pelo organismo dos IOEs, causando danos aos mesmos. Outro fato a ser analisado, caso use o avental, é que o efeito fotoelétrico que produzirá a radiação não o fará de maneira orientada, expondo somente o IOE que está manipulando ou administrando o  $^{18}\text{F}$ -FDG no paciente, caso contrário, a radiação se espalharia por todo o ambiente da clínica de imagem, e como a mesma possui uma blindagem com chumbo em suas paredes, causaria uma difícil dissipação dessa radiação.

## Referências

1. Flôr RdC, Kirchof ALC. Uma prática educativa de sensibilização quanto à exposição a radiação ionizante com profissionais de saúde. *Revista Brasileira de Enfermagem*. 2006 maio: p. 271-8.
2. Saha GB. *Fundamentals of Nuclear Pharmacy*. 5th ed. Springer-Verlag, editor. Cleveland: Springer-Verlag; 2003.
3. CNEN. Qualificação de pessoal e certificação para ensaios não destrutivos em itens de instalações nucleares. <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm117.pdf>.
4. Scaff LAM. *Física da Radioterapia*. 1st ed. Savier, editor. São Paulo: CLR Balieiro Editores Ltda; 1997.
5. Tauhata L, Salati I, Di Prinzio R, Di Prinzio AR. *Radioproteção e Dosimetria*. 9th ed. Dosimetria IdRe, editor. Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear; 2013.
6. Xavier AM, Gaidano E, Moro JT, Heilbron PF. *Princípios Básicos De Segurança E Proteção Radiológica*. 4th ed. Nuclear CndE, editor. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2014.
7. Fonseca RB, Amaral AdJ, Campos L. Eficácia de aventais equivalentes a 0,5 mm de chumbo em procedimentos PET usando o método Monte Carlo. *Scientia Plena*. 2012 Abril: p. 1.
8. Lowe VJ, Mullan BP, Hay ID, Mclver, Kasperbauer L.  $^{18}\text{F}$ -FDG pet of Patients with Hu rtle Cell Carcinoma. *The journal of nuclear medicine*. 2003 Setembro: p. 1402.
9. Welch MJ, Redvanly CS. *Handbook of Radiopharmaceuticals*. 1st ed. Chichester: Jhon Wiley & Sons ltda; 2003.
10. Flux G. The impact of pet and spect on dosimetry for targeted radionuclide therapy.. *zeitschrift für medizinische Physik*. 2016: p. 47-59.
11. CNEN. CNEN. [Online].; 2014. Available from: <http://www.cnen.gov.br>.
12. Biral AR. *Radiações ionizantes para médicos, físicos e leigos*. Florianópolis: Insular; 2002.
13. Amundson SA, Bittner M, Meltzer P, Trent J, Forance Jr AJ. Biological indicators for the identification of ionizing radiation exposure in humans. *Revista molecular diagnostic*. 2001: p. 345-357.
14. Peet DJ, Morton R, Hussein M, Alsafi K, Spyrou N. Radiation protection in fixed pet/ct facilities - design and operation. *The British Journal of Radiology*. 2012 May: p. 643-646.
15. ICRP. *Recommendations of the international commission on radiological protection*. 1977 january 17.

- 16 CNEN. <http://www.cnen.gov.br>. [Online].; 2014. Available from:  
<http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>
- 17 Oliveira RS, Carneiro-Leão AMdA. Técnicas para aplicação de fdg-18 na clínica médica oncológica. Acta sci. Health sci. 2007 august 03: p. 139-143.
- 18 Workman RB, Coleman RE. PET/CT essentials for clinical practice charleston: springer; 2006.
- 19 Sarmiento DM. Avaliação dos níveis de radiação ambiental no laboratório de tomografia por emissão de pósitrons acoplada a tomografia computadorizada, microPET/CT. instituto de pesquisas energéticas e nucleares Autarquia associada à Universidade de São Paulo. 2016.
- 20 Pacheco EF. Quantificação da dinâmica de estruturas em imagens de medicina nuclear na modalidade pet. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle. 2012.
- 21 Huang B, Law MWM, Khong PL. Whole-body pet/ct scanning: estimation of radiation dose and cancer risk. Rsn radiology. 2009;; p. 166-174.
- 22 Guillet B, Quentin , Waultier S, Bourrelly , Pisano P, Mundler. Technologist Radiation Exposure in Routine Clinical Practice with 18F-FDG PET. journal of nuclear medicine technology. 2005 September 3: p. 175-179.
- 23 Robilotta CC. A tomografia por emissão de pósitrons: uma nova modalidade na medicina nuclear brasileira. Rev Panam Salud Publica.. 2006 Feb: p. 134-42.

#### **Contato:**

Nome do Autor Correspondente:

Nelson Rodrigues Braga

Universidade de Brasília, Faculdade de Ceilândia,  
Brasília, DF.

E-mail: [nelsonbraga1107@gmail.com](mailto:nelsonbraga1107@gmail.com)

Araken dos Santos Werneck Rodrigues

Universidade de Brasília, Faculdade de Ceilândia,  
Brasília, DF.

E-mail: [arakenwerneck@gamil.com](mailto:arakenwerneck@gamil.com)