

**VARIAÇÕES DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL À  
RADIAÇÃO IONIZANTE EM PROFISSIONAIS DA  
EQUIPE TÉCNICA DO SERVIÇO DE MEDICINA  
NUCLEAR COM O USO CLINICO DE  $^{18}\text{F}$ -FDG**

**REGINA CELIA GOMES PAGLIATO**

**Dissertação apresentada à Fundação Antonio  
Prudente para obtenção do título de mestre  
em Ciências**

**Área de Concentração: Oncologia**

**Orientador: Dr. Eduardo Nóbrega Pereira Lima**

**São Paulo  
2010**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca da Fundação Antônio Prudente

Pagliato, Regina Celia Gomes

**Variações de exposição ocupacional à radiação ionizante em profissionais da equipe técnica do serviço de medicina nuclear com o uso clínico de  $^{18}\text{F}$ -FDG** / Regina Celia Gomes Pagliato – São Paulo, 2010.

94p.

Dissertação (Mestrado)-Fundação Antônio Prudente.

Curso de Pós-Graduação em Ciências - Área de concentração: Oncologia.

Orientador: Eduardo Nóbrega Pereira Lima

Descritores: 1. MEDICINA NUCLEAR 2. EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL 3. FLUORDESOXIGLUCOSE F18 4. TOMOGRAFIA POR EMISSÃO DE POSITRONS

## DEDICATÓRIA

Ao meu esposo Paulo, meu companheiro de todas as horas, pelo amor, compreensão, incentivo, ajuda e paciência durante a realização deste estudo e em todos os momentos de minha vida.

Aos meus pais, Waldemar e Maria Thereza, que com seu amor e humildade, me ensinaram a trilhar o caminho da honestidade e souberam entender meus muitos momentos de ausência e também minha ansiedade desde que iniciei esta jornada.

E, *in memoriam*, a Rejane Molina, a amiga que descobri no decorrer desta caminhada, que me ensinou a nunca desanimar seguindo sempre em frente, com força e coragem, e que agora pela vontade de Deus observa esta conquista de outras dimensões.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela fé que me mantém viva e por ser meu Guardião e Protetor em todos os momentos de minha vida.

Ao Dr. Eduardo Nóbrega Pereira Lima, meu orientador, pela confiança em mim depositada, pelo auxílio e orientação na execução deste trabalho.

Às minhas sócias Andréa Aparecida Melo Ferreira, Débora Ferderle, Eugênia Maria Lopes Carvalho, Juliana de Jesus Correa Santos e Vanessa Rivera Simões, que muito me ajudaram suprimindo horas de trabalho e suportando minha ansiedade para que eu pudesse completar essa dissertação.

À equipe de enfermagem da Medicina Nuclear: Léia, Rita e Anderson pelo carinho de todos os dias.

À Dra. Ivone do Carmo Torres Gonçalves, Dra. Íris Martinez e Dr. Marcelo Cavicchioli - médicos nucleares - pela colaboração, esclarecimentos e carinho durante a realização deste trabalho.

À Juliana Luz Passos pela realização das análises estatísticas e pela paciência em todos os momentos.

À Dra. Jenny Bertoni Nimitz pelo auxílio e revisão do texto.

À toda a equipe da Pós Graduação e Biblioteca pelo grandioso auxílio durante todo este período.

À minha irmã Rosemary e minha sobrinha Lygia, e aos meus amigos Eduardo e Liliam pelo carinho, paciência e pelas muitas orações.

## RESUMO

Pagliato RCG. **Variações de exposição ocupacional à radiação ionizante em profissionais da equipe técnica do serviço de medicina nuclear com o uso clínico de  $^{18}\text{F}$ -FDG.** São Paulo; 2010. [Dissertação de Mestrado-Fundação Antonio Prudente].

**Introdução:** O  $^{18}\text{F}$ -FDG, um análogo da glicose, é o principal radiofármaco emissor de pósitrons utilizado para imagens metabólicas em medicina nuclear. Vários estudos demonstram que o uso de  $^{18}\text{F}$ -FDG para exames de PET/CT aumenta a dose de exposição à radiação dos trabalhadores diretamente envolvidos na manipulação, aplicação e no posicionamento de pacientes injetados com esse radiofármaco. **Objetivos:** Avaliar a contribuição da introdução e uso clínico do  $^{18}\text{F}$ -FDG, sobre a dose de exposição mensal, recebida pela equipe técnica do Serviço de Medicina Nuclear do Departamento de Diagnóstico por Imagem do Hospital A.C. Camargo, no período compreendido entre 2000 à 2008 e suas particularidades. **Metodologia:** estudo retrospectivo, estabelecido entre os anos de 2000 e 2008, e, fundamentado na análise das variáveis registradas no livro de controle diário do laboratório de manipulação de radioisótopos do Setor de Medicina Nuclear do Departamento de Diagnóstico por Imagem do Hospital A.C. Camargo e na análise das variáveis presentes no registro da leitura mensal dos dosímetros tipo TLD, utilizado ao nível do tórax e punho, individualmente, pela equipe técnica do laboratório de radioisótopos deste Setor. **Resultados:** observa-se influência significativa do  $^{18}\text{F}$ -FDG na dose de exposição do tórax dos IOEs entre os anos de 2000 e 2005 e no punho entre os anos de 2006 e 2008; a soma dos isótopos mais utilizados na medicina nuclear convencional como o  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{I}$ odo e  $^{67}\text{Ga}$ lio não apresentou influência significativa na dose de exposição tanto no tórax quanto no punho nos períodos analisados. A identificação da variável responsável pela oscilação das doses de exposição desses indivíduos

forneceu importantes informações para otimização da rotina de trabalho, permitindo minimizar a exposição e aumentar a efetividade operacional através da aplicação efetiva dos preceitos de proteção radiológica.

**Conclusão:** A introdução e uso clínico do  $^{18}\text{F}$ -FDG aumenta a dose de exposição dos indivíduos ocupacionalmente expostos em relação a utilização de outros isótopos convencionais de medicina nuclear. A adoção de medidas específicas de Proteção Radiológica permite o controle e manutenção destas doses dentro dos limites estabelecidos pela CNEN.

## SUMMARY

Pagliato RCG. [Variations in occupational exposure to ionizing radiation in professional technical team of nuclear medicine service with the clinical use of  $^{18}\text{F}$ -FDG]. São Paulo; 2010. [Dissertação de Mestrado-Fundação Antonio Prudente].

**Introduction:** The  $^{18}\text{F}$ -FDG, a glucose analogue, is the main positron emitting radiopharmaceutical used for metabolic images in nuclear medicine. Several studies have shown that the use of  $^{18}\text{F}$ -FDG examinations for PET / CT increases the dose of radiation exposure of workers directly involved in handling, application and placement of patients injected with this radiopharmaceutical. **Objectives:** To evaluate the contribution of the introduction and clinical use of  $^{18}\text{F}$ -FDG on the exposure dose monthly, received by the technical staff of the Department of Nuclear Medicine, Department of Diagnostic Imaging at Hospital A.C. Camargo, in the period 2000 to 2008 and its particularities. **Methodology:** A retrospective study established between 2000 and 2008, and based on the analysis of the variables recorded in the book of daily control of the handling of radioisotope laboratory of the Division of Nuclear Medicine, Department of Diagnostic Imaging at Hospital A.C. Camargo and analysis of variables present in the reading record monthly dosimeters TLD type used at the chest and wrist, individually, by the technical staff of the Radioisotope Laboratory of this Sector. **Results:** there is significant influence of  $^{18}\text{F}$ -FDG dose exposure of the chest of occupationally exposed individuals between the years 2000 and 2005 and the wrist between the years 2006 and 2008, more than the sum of the isotopes used in nuclear medicine as the conventional  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{I}$ odo,  $^{67}\text{Ga}$ lio and showed no significant influence on the exposure dose in both the chest and in the wrist during the periods analyzed. The identification of the variable responsible for the oscillation of the levels of exposure of these individuals provided important information for optimization of the work

routine, enabling minimize exposure and increase operational effectiveness through the effective application of the precepts of radiological protection.

**Conclusion:** The introduction and clinical use of  $^{18}\text{F}$ -FDG increases the exposure dose of occupationally exposed individuals in relation to use of other conventional nuclear medicine isotopes. The adoption of specific measures for Radiological Protection allows control and maintenance of these doses within the limits established by CNEN.

## LISTA DE FIGURAS

|                  |                                                                                                                      |    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b>  | Histograma da dose mensal no tórax.....                                                                              | 28 |
| <b>Figura 2</b>  | Histograma da dose mensal no punho.....                                                                              | 28 |
| <b>Figura 3</b>  | Média e erro padrão da dose no tórax ao longo do tempo total e por indivíduo.....                                    | 34 |
| <b>Figura 4</b>  | Média e erro padrão da dose no punho ao longo do tempo total e por indivíduo.....                                    | 34 |
| <b>Figura 5</b>  | Média e erro padrão da atividade manipulada de $^{18}\text{F}$ -FDG ao longo do tempo total e por IOE.....           | 34 |
| <b>Figura 6</b>  | Média e erro padrão da atividade manipulada de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ao longo do tempo total e por IOE.....       | 34 |
| <b>Figura 7</b>  | Média e erro padrão da atividade manipulada de $^{131}\text{I}$ ODO ao longo do tempo total e por IOE.....           | 35 |
| <b>Figura 8</b>  | Média e erro padrão da atividade manipulada de $^{67}\text{Ga}$ LÍCIO ao longo do tempo total e por IOE.....         | 35 |
| <b>Figura 9</b>  | Média e erro padrão da atividade manipulada de $^{111}\text{In}$ ÍNDIO ao longo do tempo total e por IOE.....        | 35 |
| <b>Figura 10</b> | Média e erro padrão da atividade manipulada de $^{177}\text{Lu}$ LUTÉCIO ao longo do tempo total e por IOE.....      | 35 |
| <b>Figura 11</b> | Média e erro padrão da atividade manipulada de $^{131}\text{I}$ -MIBG ao longo do tempo total e por IOE.....         | 35 |
| <b>Figura 12</b> | Média e erro padrão da atividade manipulada de $^{153}\text{Sm}$ SAMÁRIO ao longo do tempo total e por IOE.....      | 35 |
| <b>Figura 13</b> | Média da dose de exposição mensal no tórax, por ano de estudo, para todos os indivíduos (Total) e por indivíduo..... | 39 |

|                  |                                                                                                                                            |    |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 14</b> | Média da dose de exposição mensal no punho, por ano de estudo, para todos os indivíduos (Total) e por indivíduo.....                       | 43 |
| <b>Figura 15</b> | Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo – $^{18}\text{F}$ -FDG.....            | 44 |
| <b>Figura 16</b> | Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo – $^{99\text{m}}\text{Tc}$ .....       | 44 |
| <b>Figura 17</b> | Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo – $^{131}\text{I}$ ODO.....            | 44 |
| <b>Figura 18</b> | Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo – $^{67}\text{Ga}$ LÍCIO.....          | 44 |
| <b>Figura 19</b> | Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo – $^{111}\text{In}$ ÍNDIO.....         | 44 |
| <b>Figura 20</b> | Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo – $^{177}\text{Lu}$ LUTÉCIO.....       | 44 |
| <b>Figura 21</b> | Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo – $^{131}\text{I}$ -MIBG.....          | 45 |
| <b>Figura 22</b> | Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo – $^{153}\text{Sm}$ SAMÁRIO....        | 45 |
| <b>Figura 23</b> | Gráficos de dispersão entre número de pacientes atendidos e atividade manipulada para cada um dos isótopos (NP = número de pacientes)..... | 46 |

|                  |                                                                                                                |    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 24</b> | Gráfico de dispersão entre número de pacientes atendidos e atividade manipulada para $^{18}\text{F}$ -FDG..... | 47 |
| <b>Figura 25</b> | Boxplot da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo A.....                                    | 49 |
| <b>Figura 26</b> | Boxplot da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo A.....                                    | 49 |
| <b>Figura 27</b> | Boxplot da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo B.....                                    | 51 |
| <b>Figura 28</b> | Boxplot da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo B.....                                    | 51 |
| <b>Figura 29</b> | Boxplot da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo C.....                                    | 53 |
| <b>Figura 30</b> | Boxplot da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo C.....                                    | 53 |
| <b>Figura 31</b> | Boxplot da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo D.....                                    | 55 |
| <b>Figura 32</b> | Boxplot da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo D.....                                    | 55 |
| <b>Figura 33</b> | Boxplot da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo E.....                                    | 56 |
| <b>Figura 34</b> | Boxplot da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo E.....                                    | 56 |
| <b>Figura 35</b> | Boxplot da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo F.....                                    | 58 |
| <b>Figura 36</b> | Boxplot da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo F.....                                    | 58 |
| <b>Figura 37</b> | Boxplot da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo G.....                                    | 60 |

|                  |                                                                                                                      |    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 38</b> | Boxplot da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo G.....                                          | 60 |
| <b>Figura 39</b> | Relação entre dose de exposição e quantidade manipulada de $^{18}\text{F}$ -FDG segundo os modelos da tabela 50..... | 67 |
| <b>Figura 40</b> | Equipamento Millennium VG-GE – Gama-câmara híbrida com detectores de coincidência e ampola de CT acoplada.           | 72 |
| <b>Figura 41</b> | Preparo do acesso venoso pela equipe de enfermagem.....                                                              | 75 |
| <b>Figura 42</b> | Equipamento PET/CT dedicado – Philips.....                                                                           | 76 |
| <b>Figura 43</b> | Blindagem utilizada para o transporte do $^{18}\text{F}$ -FDG.....                                                   | 78 |
| <b>Figura 44</b> | Separador de doses.....                                                                                              | 78 |
| <b>Figura 45</b> | Blindagem móvel com 15 mm de espessura de chumbo.....                                                                | 79 |
| <b>Figura 46</b> | Protetor de seringa de chumbo utilizado na administração do $^{18}\text{F}$ -FDG.....                                | 80 |
| <b>Figura 47</b> | Aplicação do $^{18}\text{F}$ -FDG.....                                                                               | 80 |
| <b>Figura 48</b> | Uso do avental de chumbo durante administração do $^{18}\text{F}$ -FDG.....                                          | 81 |
| <b>Figura 49</b> | Uso do avental de chumbo durante a manipulação do $^{18}\text{F}$ -FDG.....                                          | 81 |
| <b>Figura 50</b> | Média de dose mensal ao longo do estudo.....                                                                         | 83 |
| <b>Figura 51</b> | Média e erro-padrão na dose do tórax ao longo do estudo e por IOE.....                                               | 84 |

## LISTA DE TABELAS

|                 |                                                                                                                                                                            |    |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> | Resumo das relações entre as unidades antigas e atuais.....                                                                                                                | 7  |
| <b>Tabela 2</b> | Limitação de dose de exposição anual.....                                                                                                                                  | 9  |
| <b>Tabela 3</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo, considerando-se todos os IOEs..... | 29 |
| <b>Tabela 4</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo do IOE A.....                       | 30 |
| <b>Tabela 5</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo do IOE B.....                       | 30 |
| <b>Tabela 6</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo do IOE C.....                       | 31 |
| <b>Tabela 7</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo do IOE D.....                       | 31 |
| <b>Tabela 8</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo do IOE E.....                       | 32 |
| <b>Tabela 9</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo do IOE F.....                       | 32 |

|                  |                                                                                                                                                      |    |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 10</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo do IOE G..... | 33 |
| <b>Tabela 11</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, considerando todos os IOEs.....                                                 | 36 |
| <b>Tabela 12</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo A.....                                                         | 36 |
| <b>Tabela 13</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo B.....                                                         | 36 |
| <b>Tabela 14</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo C.....                                                         | 37 |
| <b>Tabela 15</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo D.....                                                         | 37 |
| <b>Tabela 16</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo E.....                                                         | 37 |
| <b>Tabela 17</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo F.....                                                         | 38 |
| <b>Tabela 18</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo G.....                                                         | 38 |
| <b>Tabela 19</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, considerando todos os IOEs.....                                                 | 40 |
| <b>Tabela 20</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo A.....                                                         | 40 |

|                  |                                                                                                                                    |    |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 21</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo B.....                                       | 40 |
| <b>Tabela 22</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo C.....                                       | 41 |
| <b>Tabela 23</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo D.....                                       | 41 |
| <b>Tabela 24</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo E.....                                       | 41 |
| <b>Tabela 25</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo F.....                                       | 42 |
| <b>Tabela 26</b> | Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo G.....                                       | 42 |
| <b>Tabela 27</b> | Estatísticas descritivas da dose de exposição mensal no tórax e no punho, por ano de estudo, para o indivíduo A.....               | 48 |
| <b>Tabela 28</b> | Estatísticas descritivas da atividade manipulada para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo A.....          | 49 |
| <b>Tabela 29</b> | Estatísticas descritivas do número de pacientes atendidos para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo A..... | 49 |
| <b>Tabela 30</b> | Estatísticas descritivas da dose de exposição mensal no tórax e no punho, por ano de estudo, para o indivíduo B.....               | 50 |
| <b>Tabela 31</b> | Estatísticas descritivas da atividade manipulada para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo B.....          | 51 |

|                  |                                                                                                                                    |    |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 32</b> | Estatísticas descritivas do número de pacientes atendidos para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo B..... | 51 |
| <b>Tabela 33</b> | Estatísticas descritivas da dose de exposição mensal no tórax e no punho, por ano de estudo, para o indivíduo C.....               | 52 |
| <b>Tabela 34</b> | Estatísticas descritivas da atividade manipulada para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo C.....          | 53 |
| <b>Tabela 35</b> | Estatísticas descritivas do número de pacientes atendidos para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo C..... | 53 |
| <b>Tabela 36</b> | Estatísticas descritivas da dose de exposição mensal no tórax e no punho, por ano de estudo, para o indivíduo D.....               | 54 |
| <b>Tabela 37</b> | Estatísticas descritivas da atividade manipulada para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo D.....          | 55 |
| <b>Tabela 38</b> | Estatísticas descritivas do número de pacientes atendidos para cada isótopo radioativo por ano de estudo para o indivíduo D.....   | 55 |
| <b>Tabela 39</b> | Estatísticas descritivas da dose de exposição mensal no tórax e no punho por ano de estudo para o indivíduo E.....                 | 56 |
| <b>Tabela 40</b> | Estatísticas descritivas da atividade manipulada para cada isótopo radioativo por ano de estudo para o indivíduo E.....            | 57 |
| <b>Tabela 41</b> | Estatísticas descritivas do número de pacientes atendidos para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo E..... | 57 |

|                  |                                                                                                                                                                                             |    |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 42</b> | Estatísticas descritivas da dose de exposição mensal no tórax e no punho, por ano de estudo, para o indivíduo F.....                                                                        | 58 |
| <b>Tabela 43</b> | Estatísticas descritivas da atividade manipulada para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo F.....                                                                   | 59 |
| <b>Tabela 44</b> | Estatísticas descritivas do número de pacientes atendidos para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo F.....                                                          | 59 |
| <b>Tabela 45</b> | Estatísticas descritivas da dose de exposição mensal no tórax e no punho, por ano de estudo, para o indivíduo G.....                                                                        | 60 |
| <b>Tabela 46</b> | Estatísticas descritivas da atividade manipulada para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo G.....                                                                   | 61 |
| <b>Tabela 47</b> | Estatísticas descritivas do número de pacientes atendidos para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo G.....                                                          | 61 |
| <b>Tabela 48</b> | Estimativa do coeficiente (EC), erro-padrão da estimativa (EP) e p-valor (P) das regressões do tórax sobre os isótopos individuais e os IOEs. ....                                          | 63 |
| <b>Tabela 49</b> | Estimativa do coeficiente (EC), erro-padrão da estimativa (EP) e p-valor (P) das regressões do punho sobre os isótopos individuais e os IOEs.....                                           | 64 |
| <b>Tabela 50</b> | Estimativa do coeficiente (EC), erro-padrão da estimativa (EP) e p-valor (P) das regressões do punho e do tórax sobre os isótopos e os IOEs.....                                            | 65 |
| <b>Tabela 51</b> | Estimativa do coeficiente (EC), erro-padrão da estimativa (EP) e p-valor (P) das regressões do punho e do tórax sobre o isótopo $^{18}\text{F}$ -FDG e os IOEs, por intervalo de tempo..... | 66 |

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 52</b> | Estimativa do coeficiente (EC), erro-padrão da estimativa (EP) e p-valor (P) das regressões do punho e do tórax sobre o isótopo $^{18}\text{F}$ -FDG e a soma dos isótopos $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , $^{131}\text{I}$ odo, $^{67}\text{Ga}$ lio e os IOEs, por intervalo de tempo..... | 67 |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE ABREVIATURAS

|                                            |                                                          |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <b><math>^{18}\text{F}</math>-FDG</b>      | $^{18}\text{F}$ -2-Fluoro2-Deoxiglicose                  |
| <b><math>^{99\text{m}}\text{Tc}</math></b> | Tecnécio $^{99}$ metaestável                             |
| <b><math>^{131}\text{I}</math>MIBG</b>     | Metaiodobenzilguanidina marcado com $^{131}\text{I}$ odo |
| <b><math>^{99}\text{Mo}</math></b>         | Molibidênio99                                            |
| <b>A</b>                                   | Atividade                                                |
| <b>ALARA</b>                               | As low as reasonably achievable                          |
| <b>AM</b>                                  | Atividade manipulada                                     |
| <b>Bq</b>                                  | Becquerel                                                |
| <b>C/Kg</b>                                | Coulomb/quilograma                                       |
| <b>Ci</b>                                  | Curie                                                    |
| <b>CNEN</b>                                | Comissão Nacional de Energia Nuclear                     |
| <b>D</b>                                   | Dose Absorvida                                           |
| <b>DNA</b>                                 | Ácido Desoxirribonucléico                                |
| <b>DP</b>                                  | Desvio-padrão                                            |
| <b>Dps</b>                                 | Desintegrações por segundo                               |
| <b>EC</b>                                  | Estimativa do coeficiente                                |
| <b>EP</b>                                  | Erro-padrão                                              |
| <b>GLM</b>                                 | Modelos Lineares Generalizados                           |
| <b>Gy</b>                                  | Gray                                                     |
| <b>G/cm<sup>3</sup></b>                    | gramas/centímetro cúbico                                 |
| <b>H</b>                                   | Dose equivalente                                         |
| <b>H<sub>E</sub></b>                       | Dose equivalente efetiva                                 |
| <b>ICRP</b>                                | International Commission on Radiological Protection      |
| <b>ICRU</b>                                | International Commission Units and Measurements          |
| <b>IOE</b>                                 | Indivíduo Ocupacionalmente Exposto                       |
| <b>IPDR</b>                                | Instituto Paulista de Dosimetria das Radiações           |
| <b>IPEN</b>                                | Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares           |
| <b>J/Kg</b>                                | Joule/quilograma                                         |
| <b>KeV</b>                                 | quiloelétron-volt                                        |

|                                       |                                                                |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <b>mCi</b>                            | Milicurie                                                      |
| <b>mSv</b>                            | Milisievert                                                    |
| <b>mSv/h</b>                          | Milisievert/hora                                               |
| <b>N</b>                              | Número de registros                                            |
| <b>NP</b>                             | Número de pacientes                                            |
| <b>P</b>                              | p-valor                                                        |
| <b>Partículas <math>\alpha</math></b> | Partículas Alfa                                                |
| <b>Partículas <math>\beta</math></b>  | Partículas Beta                                                |
| <b>PET/CT</b>                         | Tomografia por emissão de pósitrons/Tomografia Computadorizada |
| <b>R</b>                              | Roentgen                                                       |
| <b>Rad</b>                            | Radiation absorbed dose                                        |
| <b>Raios <math>\gamma</math></b>      | Raios Gama                                                     |
| <b>Rem</b>                            | Roentgen equivalent man                                        |
| <b>Sv</b>                             | Sievert                                                        |
| <b>SPECT</b>                          | Tomografia por emissão de fóton único                          |
| <b>T <math>\frac{1}{2}</math></b>     | Meia-vida                                                      |
| <b>TLD</b>                            | Dosímetro Termoluminescente                                    |
| <b>X</b>                              | Exposição                                                      |

## ÍNDICE

|          |                                                                                 |           |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                         | <b>1</b>  |
| 1.1      | PRINCÍPIOS FÍSICOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES.....                                | 1         |
| 1.2      | INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA .....                                       | 3         |
| 1.3      | EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES .....                               | 4         |
| 1.4      | GRANDEZAS DE MEDIDAS DE RADIAÇÃO E UNIDADES.....                                | 5         |
| 1.5      | NOÇÕES DE RADIOPROTEÇÃO.....                                                    | 7         |
| 1.6      | DOSIMETRIA DOS INDIVÍDUOS OCUPACIONALMENTE<br>EXPOSTOS.....                     | 13        |
| 1.7      | MEDICINA NUCLEAR .....                                                          | 15        |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS .....</b>                                                          | <b>21</b> |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                                                | <b>22</b> |
| 3.1      | ANÁLISE ESTATÍSTICA .....                                                       | 26        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS.....</b>                                                          | <b>27</b> |
| 4.1      | ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....                                             | 27        |
| 4.1.1    | INDIVÍDUO A.....                                                                | 48        |
| 4.1.2    | INDIVÍDUO B.....                                                                | 50        |
| 4.1.3    | INDIVÍDUO C .....                                                               | 52        |
| 4.1.4    | INDIVÍDUO D .....                                                               | 54        |
| 4.1.5    | INDIVÍDUO E.....                                                                | 56        |
| 4.1.6    | INDIVÍDUO F .....                                                               | 58        |
| 4.1.7    | INDIVÍDUO G .....                                                               | 60        |
| 4.2      | REGRESSÕES (AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS ISÓTOPOS NA<br>DOSE DE EXPOSIÇÃO) ..... | 62        |
| <b>5</b> | <b>DISCUSSÃO .....</b>                                                          | <b>69</b> |

|   |                                  |    |
|---|----------------------------------|----|
| 6 | CONCLUSÕES .....                 | 87 |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 88 |

### **ANEXOS**

**Anexo 1** Planilha de coleta de dados: isótopo x atividade manipulada  
x nº de pacientes x IOE

**Anexo 2** Planilha de coleta de dados: Doses de exposição - mensal x  
anual

**Anexo 3** Modelo do livro de registro de pacientes do laboratório de  
radioisótopos do Setor de Medicina Nuclear do  
Departamento de Diagnóstico por Imagem do Hospital A.C.  
Camargo.

**Anexo 4** Modelo do relatório da leitura dos dosímetros de tórax e  
punho fornecidos mensalmente pelo IPDR.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 PRINCÍPIOS FÍSICOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

W.C.Roentgen, em novembro de 1895, descobriu acidentalmente os Raios X quando fazia experiências em seu laboratório. Meses depois, o físico francês, Antoine Henri Becquerel, descobriu que um determinado material natural, o Urânio, emitia radiações espontaneamente. Em 1897, Joseph John Thomson descobriu o elétron. Em 1898, o casal Pierre e Marie Curie anunciaram a descoberta do Rádio (Ra), um material altamente radioativo e do Tório (Th), a partir de compostos do Urânio. Descobriram, também, um outro material, que recebeu o nome de Polônio. No ano seguinte, Rutherford descobriu as partículas alfa ( $\alpha$ ) e beta ( $\beta$ ) e Paul Villard descobriu os raios gama ( $\gamma$ ), com menor energia, porém com maior capacidade de penetração. Os termos *radioatividade* e *substâncias* ou *elementos radioativos* foram introduzidos por Marie Curie, com a continuidade dos estudos (ROBILOTTA, 2006; XAVIER et al., 2007).

Nos dias atuais, denomina-se *radiação* qualquer dos processos físicos de emissão e propagação de energia, seja por intermédio de fenômenos ondulatórios, seja por meio de partículas dotadas de energia cinética, sendo geralmente dividida em dois grupos:

- Radiação corpuscular → constituída de um feixe de partículas elementares ou núcleos atômicos, tais como: elétrons, prótons, nêutrons, mésons, dêutrons, partículas alfa.
  - o Partículas alfa ( $\alpha$ ) → são núcleos de Hélio, constituídas por dois prótons e dois nêutrons; são partículas grandes, com carga positiva, com baixo poder de penetração e baixa velocidade.
  - o Partículas beta ( $\beta$ ) → são elétrons de alta energia ou pósitrons emitidos de núcleos atômicos; são partículas pequenas, de pouca velocidade, com um poder de penetração moderado.
- Radiação eletromagnética → são ondas eletromagnéticas, constituídas de campos elétricos e magnéticos oscilantes, que se propagam em velocidade constante no vácuo; não apresentam massa nem carga e têm alto poder de penetração na matéria. São classificadas de acordo com a frequência da onda em: ondas de rádio, microondas, raios T (terahertz), radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta, raios X e radiação gama.
  - o Raios Gama ( $\gamma$ ) → ondas eletromagnéticas, altamente penetrantes, que viajam na velocidade da luz. Podem ser produzidas por decaimentos radioativos e em reações nucleares, onde a radiação eletromagnética é emitida para retirar o excesso de energia dos núcleos instáveis, na busca da estabilidade. São originadas dentro do núcleo atômico.

- o Raios X → diferem dos raios gama por terem origem fora do núcleo atômico, na desaceleração de elétrons (OKUNO et al., 1982a e d; SOARES, 2002a; THRALL e ZIESSMAN, 2003a)

## 1.2 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA

Os diferentes tipos de radiação podem interagir com a matéria através dos processos de:

- Ionização → remoção completa de um ou mais elétrons de valência. Ao serem ionizados, os elementos químicos tornam-se ávidos por reagir com outros elementos, modificando as moléculas das quais fazem parte. São três os principais processos de ionização:
  - o Efeito fotoelétrico
  - o Efeito Compton
  - o Produção de Pares e Aniquilação
- Excitação → os elétrons são levados a níveis com energias mais altas, através da transferência de parte ou toda sua energia para os elétrons do alvo (OKUNO et al., 1982a; SOARES, 2002a; THRALL e ZIESSMAN, 2003a).

### 1.3 EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

Os efeitos biológicos das radiações são a consequência de uma série de acontecimentos que se iniciam no processo de interação da radiação com a matéria, onde ocorre a ionização e excitação de átomos e quebra de moléculas, formando íons e radicais livres altamente reativos, os quais podem danificar o DNA (ácido desoxirribonucléico) da célula, gerando mutações genéticas e modificações em células vivas. Essa ação destrutiva pode ser utilizada de forma benéfica em diversas áreas, como na indústria, agricultura, na Biologia e na Medicina, para identificação e tratamento de tumores.

Classificação dos efeitos biológicos:

1. Segundo a dose absorvida e a forma de resposta:

- Estocásticos → leva m à transformação celular; não apresenta limiar de dose; a probabilidade de ocorrer depende da dose.
- Determinísticos → levam à morte celular; existe limiar de dose; a probabilidade de ocorrência e gravidade são diretamente relacionados ao aumento da dose.

2. Segundo o tempo de manifestação:

- Imediatos → ocorrem em um período de horas até algumas semanas após a irradiação.
- Tardios → ocorrem vários meses ou anos após a exposição à radiação.

### 3. Segundo o nível do dano:

- Somáticos → ocorrem no próprio indivíduo irradiado, não se transmitindo para seus descendentes. Podem ser imediatos ou tardios.
- Genéticos → os danos são provocados nas células reprodutoras dos indivíduos que foram expostos à radiação, podendo resultar em defeitos ou malformação nos seus descendentes (OKUNO et al., 1982f; SOARES, 2002b; BELLINTANI et al., 2002; ROGERO et al., 2008).

## 1.4 GRANDEZAS DE MEDIDAS DE RADIAÇÃO E UNIDADES

Existem dois tipos de grandezas físicas, utilizadas em Proteção Radiológica: atividade e dose.

- Atividade ( $A$ ) → grandeza utilizada para expressar a quantidade de material radioativo de uma amostra, representando o número de emissões ou transformações nucleares por unidade de tempo. O Becquerel (Bq) é a unidade de medida da atividade e 1 Bq corresponde a uma transformação por segundo.
- Meia-vida ( $T_{1/2}$ ) → a meia-vida é definida como o tempo necessário para que metade dos átomos de uma fonte radioativa se desintegre. Cada elemento radioativo decai com

uma taxa característica, que pode variar de um segundo a milhões de anos.

A dose de radiação recebida por um indivíduo pode ser avaliada por meio das seguintes grandezas: exposição, dose absorvida, dose equivalente e dose equivalente efetiva.

- Exposição (X) → ato ou condição de estar submetido à radiação ionizante. Definida somente para raios X e gama; mede a quantidade de radiação definida como a carga liberada por unidade de massa de ar.
- Dose absorvida (D) → é a energia média depositada pela radiação na matéria por unidade de massa. É definida para qualquer tipo de radiação e para qualquer meio material.
- Dose equivalente (H) leva em conta as diferentes capacidades de interações biológicas das diferentes radiações. É a dose absorvida média no órgão ou tecido exposto.
- Dose equivalente efetiva ( $H_E$ ) → é a soma das doses equivalentes ponderadas para os diversos órgãos, quando os mesmos são considerados individualmente (OKUNO et al., 1982b, c e e; SOARES, 2002b; THRALL e ZIESSMAN, 2003b; BELLINTANI et al., 2002; CARDOSO, 2005).

**Tabela 1** – resumo das relações entre as unidades antigas e atuais.

| GRANDEZA            | SÍMBOLO | UNIDADE ANTIGA                            |         |                             | UNIDADE NOVA                 |         |           |
|---------------------|---------|-------------------------------------------|---------|-----------------------------|------------------------------|---------|-----------|
|                     |         | NOME                                      | SÍMBOLO | VALOR                       | NOME                         | SÍMBOLO | VALOR     |
| ATIVIDADE           | A       | Curie                                     | Ci      | $3,7 \times 10^{10}$<br>dps | Becquerel                    | Bq      | 1 dps     |
| EXPOSIÇÃO           | X       | Roentgen                                  | R       | $2,58 \times 10^{-4}$ C/Kg  | <u>Coulomb</u><br>quilograma | C/Kg    | 1 C/Kg    |
| DOSE<br>ABSORVIDA   | D       | Radiation<br>absorbed<br>dose<br>Roentgen | rad     | $10^{-2}$ J/Kg              | Gray                         | Gy      | 1 J/Kg    |
| DOSE<br>EQUIVALENTE | H       | equivalent<br>man                         | rem     | $10^{-2}$<br>/Kg.Q.N        | Sievert                      | Sv      | 1 /Kg.Q.N |

**Fonte:** Adaptado de BELLINTANI et al. (2002)

## 1.5 NOÇÕES DE RADIOPROTEÇÃO

Devido aos danos biológicos causados nos seres vivos pela exposição à radiação, tornou-se necessário estabelecer meios de proteção aos trabalhadores e ao público em geral.

Define-se proteção radiológica ou radioproteção o conjunto de medidas para a prevenção ou diminuição dos efeitos somáticos no ser humano e redução de possíveis efeitos indesejáveis a seus descendentes, causados pela radiação ionizante.

Internacionalmente, foram criadas instituições como a “International Commission on Radiological Protection” (ICRP) e a “International

Commission Units and Measurements” (ICRU), que definem as grandezas de medida da radiação e estabelecem os limites máximos permissíveis aos indivíduos ocupacionalmente expostos e à população em geral.

No Brasil, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) é o órgão da administração pública responsável pela legislação e fiscalização do uso da radiação. As normas que regem a utilização da radiação no país são conhecidas como “Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica” – NN 3.01 (OKUNO et al., 1982b; BELLINTANI et al., 2002; SOARES, 2002b; CNEN, 2005).

As atividades que utilizam radiação ionizante devem ser adotadas em benefício da sociedade, considerando-se a proteção dos indivíduos ocupacionalmente expostos, do público, do paciente e do meio ambiente, levando-se sempre em consideração os princípios abaixo:

- Princípio da Justificativa → qualquer atividade que exija uma exposição à radiação ionizante deve ser justificada em relação a outras alternativas, tendo-se em conta os benefícios que irá produzir.
- Princípio da Otimização → o princípio básico da proteção radiológica estabelece que todas as exposições devem ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequíveis, seguindo o princípio *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA). Estudos demonstram que não existe um limiar real de dose para os efeitos estocásticos da radiação. Assim, o princípio ALARA estabelece a necessidade de otimização da

proteção radiológica em todas as situações que possam ser controladas por medidas de proteção, particularmente na seleção, planejamento de equipamentos, operações e sistemas de proteção.

- Princípio da Limitação de dose as doses individuais de trabalhadores e de indivíduos da população em geral não devem exceder os limites anuais de doses estabelecidos para cada país (tabela 2).

**Tabela 2** – Limitação de dose de exposição anual.

| Limites de Dose Anuais (a) |               |                  |                      |
|----------------------------|---------------|------------------|----------------------|
| Grandeza                   | Órgão         | Indivíduo        | Indivíduo do público |
|                            |               | Ocupacionalmente | em geral             |
|                            |               | Exposto          |                      |
| Dose efetiva               | Corpo inteiro | 20 mSv (b)       | 1 mSv                |
| Dose equivalente           | Cristalino    | 150 mSv          | 15 mSv               |
|                            | Pele (c)      | 500 mSv          | 50 mSv               |
|                            | Extremidades  | 500 mSv          | NÃO SE APLICA        |

**Fonte:** TAUHATA et al. (2003)

- (a) – o termo dose anual é considerado como dose no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.
- (b) – média ponderada em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano.
- (c) – valor médio em 1 cm<sup>2</sup> de área, na região mais irradiada - (OKUNO et al., 1982b; BELLINTANI et al., 2002; SOARES, 2002b; TAUHATA et al., 2003; CNEN, 2005).

Para se adotar uma ação, quando a medida de uma determinada grandeza ultrapassa um certo valor, utilizam-se níveis de referência. A ação a ser tomada pode variar de acordo com o ocorrido:

- (a) Nível de registro→ quando as medidas de um programa de monitoração fornecem resultados tão baixos ao nível estabelecido que não são do interesse, podendo-se descartar ou arquivar os resultados.
- (b) Nível de investigação→ valor acima do qual o resultado é considerado suficientemente importante para justificar maiores investigações. Este nível deve ser relacionado a um só evento.
- (c) Nível de intervenção→ nível de dose evitável, que leva à implementação de uma ação remediadora ou protetora específica, em uma situação de emergência ou de exposição crônica. Depende da situação e deve ser preestabelecido, pois sempre irá interferir com a operação normal ou com os responsáveis pela instalação (SOARES, 2002b; BELLINTANI et al., 2002; TAUHATA et al., 2003; CNEN, 2005).

As radiações externas podem ser controladas, operando-se com três parâmetros: tempo, distância e blindagem.

- Tempo de exposição → redução do tempo de exposição ao mínimo necessário. A dose acumulada por um trabalhador numa área exposta a uma certa taxa de dose é diretamente proporcional ao tempo em que ele permanece na área. Os recursos mais eficazes para se minimizar a exposição do trabalhador durante a execução de suas tarefas são treinamentos específicos e otimização de suas habilidades.
- Distância → quanto mais distante da fonte de radiação, menor a intensidade do feixe. A intensidade de radiação é proporcional ao inverso do quadrado da distância entre o ponto e a fonte.
- Blindagem → a escolha do material de blindagem depende do tipo de radiação, da atividade da fonte e da taxa de dose que é aceitável fora do material de blindagem. Para a proteção dos trabalhadores existem equipamentos de proteção individual (avental de chumbo, protetor de tireoide e óculos plumbífero) que são obrigatórios e constituem uma forma de blindagem. Existem também blindagens de áreas (barreiras de proteção radiológica e biombos) (SOARES, 2002a; BELLINTANI et al., 2002; TAUHATA et al., 2003).

O cálculo e a construção de uma blindagem para uma instalação devem ter por princípio a localização das fontes radioativas, as possíveis

direções de incidência do feixe, o tempo de ocupação de máquina ou fonte, a carga de trabalho, os locais e áreas circunvizinhas e a planta de instalação. Após a escolha dos materiais da construção e da blindagem, calculam-se as espessuras e escolhem-se as geometrias que otimizam a redução do nível de radiação aos estabelecidos por normas específicas e gerais e de radioproteção.

Os raios X e gama são o tipo de radiação com a qual a maioria das pessoas está envolvida. Devido ao fato de fótons  $\gamma$  atravessarem o material absorvedor, sua redução é determinada pela energia da radiação, pela natureza do material absorvedor e por sua espessura. Para se determinar a espessura de material necessário para se atenuar os fótons X e  $\gamma$ , utiliza-se a lei da atenuação exponencial.

Quando não há necessidade de cálculos precisos, podemos calcular apenas uma estimativa de blindagem, através dos conceitos de camada semi-redutora e decirredutora.

- Camada semirredutora  $\rightarrow$  é definida como a espessura de material de blindagem necessária para reduzir à metade a intensidade de um feixe de fótons incidentes, sendo que há um valor específico de camada semirredutora para cada energia dos fótons.
- Camada decirredutora  $\rightarrow$  espessura de material de blindagem necessária para reduzir em 10 vezes a intensidade de um feixe de fótons incidentes, sendo que há um valor específico de

camada decirredutora para cada energia dos fótons (SOARES, 2002a; TAUHATA et al., 2003).

Cada uma das radiações ionizantes penetra com maior ou menor profundidade na matéria. As blindagens são necessárias para deter a propagação das radiações, evitando exposições desnecessárias. Para as emissões a seguir, os principais tipos de blindagens utilizadas são:

- Partículas alfa ( $\alpha$ ) → papel
- Partículas beta ( $\beta$ ) → placa metálica
- Raios Gama ( $\gamma$ ) e Raios X → chumbo (OKUNO et al., 1982b; TAUHATA et al., 2003; SOARES, 2002a; BELLINTANI et al., 2002).

## **1.6 DOSIMETRIA DOS INDIVÍDUOS OCUPACIONALMENTE EXPOSTOS**

A detecção e medição das radiações são fundamentais para a proteção radiológica, tanto na obtenção de medidas precisas quanto na avaliação do grau de risco envolvido em atividades com exposição à radiação.

As radiações ionizantes, por si só, não podem ser medidas diretamente; a detecção é realizada pelo resultado produzido pela interação da radiação com um meio sensível (detector). Em um sistema detector, os detectores de radiação são os elementos ou dispositivos sensíveis à

radiação ionizante, utilizados para determinar a quantidade de radiação presente em um determinado meio. Os sistemas detectores que indicam a radiação total a que uma pessoa foi exposta são chamados dosímetros.

A dosimetria pessoal é a avaliação quantitativa da dose de radiação recebida pelo corpo do usuário em decorrência de seu trabalho, indicando a exposição ou dose absorvida total a que o indivíduo foi submetido. Os trabalhadores ocupacionalmente expostos devem sempre utilizar o monitor individual de dose (dosímetro) durante sua jornada de trabalho; seu uso é pessoal e intransferível, tratando-se de uma medida de grande responsabilidade, pois além de permitir a determinação da dose, possibilita a indicação das condições de funcionamento de equipamentos, bem como maneiras incorretas no manuseio de fontes radioativas ou deficiência de blindagens.

Os principais tipos de dosímetros são: filmes fotográficos, canetas dosimétricas e termoluminescentes.

Os dosímetros termoluminescentes são constituídos por cristais que, quando irradiados, armazenam a energia da radiação incidente. Quando aquecidos a uma temperatura pré-estabelecida, a energia armazenada será liberada com emissão de luz, fenômeno conhecido como termoluminescência. A quantidade de luz emitida durante o aquecimento é proporcional à dose absorvida pelo dosímetro. Este é o método dosimétrico utilizado em serviços de medicina nuclear (BELLINTANI et al., 2002; SOARES, 2002a; TAUHATA et al., 2003; DAROS, 2008).

## 1.7 MEDICINA NUCLEAR

A medicina nuclear é uma especialidade médica, com finalidade diagnóstica e terapêutica. Seu princípio se fundamenta na detecção da distribuição biológica de substâncias farmacológicas, ligadas a isótopos radioativos (radiofármacos), administrados de forma não invasiva, a fim de se observar o estado fisiológico de tecidos e órgãos pela emissão de partículas ou raios gama, captadas por equipamentos denominados gama-câmeras, permitindo a formação e documentação de imagens da estrutura estudada (LIMA 2002).

As primeiras aplicações da medicina nuclear datam de 1923, na avaliação do metabolismo de cálcio em plantas. Na década de 40, com a descoberta do  $^{131}\text{I}$ odo, que é captado pela glândula tireoide, tornou-se possível estudar o seu metabolismo.

Em seguida, surgiu o primeiro aparelho capaz de registrar a radiação emanada pelo radionuclídeo administrado ao paciente: o cintilógrafo retilíneo, e, na década seguinte, a câmera de cintilação denominada câmera Ânger, que era capaz de adquirir imagens dinâmicas e estáticas da função de um determinado órgão. As modernas câmeras utilizadas hoje derivam da câmera de Ânger.

O grande poder diagnóstico da medicina nuclear teve início com a introdução do radionuclídeo  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (tecnécio 99m) como marcador. O  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  possui meia-vida de 6 horas, energia de 140 Kev, e é continuamente produzido pela desintegração do  $^{99}\text{Mo}$ , possibilitando um fornecimento

constante, na forma de gerador, adquirido pelos serviços de medicina nuclear.

A facilidade do  $^{99m}\text{Tc}$  em marcar um grande número de fármacos, torna-o aplicável em estudos de, praticamente, todos os órgãos e sistemas do corpo humano.

A aplicabilidade dos métodos cintilográficos, visando o diagnóstico e, em alguns casos, também o tratamento, vem se consolidando nos últimos 20 anos, graças ao desenvolvimento da computação eletrônica, aliada a técnicas tomográficas de ponta como o SPECT (tomografia por emissão de fóton único) e PET (tomografia por emissão de pósitrons). O desenvolvimento dessas novas técnicas culminaram com o aprimorar dos equipamentos de medicina nuclear e vem suprimindo as necessidades médicas por fornecer informações biológicas distribuídas no espaço e no tempo (ROBILOTTA, 2006).

A utilização da Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET) para diagnóstico em medicina nuclear vem crescendo, gradualmente, no Brasil (GUIMARÃES, 2006). O radiofármaco mais frequentemente utilizado para este estudo é o  $^{18}\text{F}$ -FDG (flúor-2-deoxi-D-glicose) (SEIERSTAD et al., 2007). Esse elemento é um análogo da glicose e permite a aquisição de imagens metabólicas. O  $^{18}\text{F}$ -FDG possui meia-vida curta, aproximadamente 110 minutos, decaindo pela emissão de pósitrons de seu núcleo, seguido da colisão com um elétron, o qual resulta em dois fótons de 511 keV, os quais são emitidos em direções opostas ( $180^\circ$ ) (BIXLER et al., 1999). Seu poder

de alcance é de 1 a 2 mm (GUIMARÃES, 2006), sendo por estas características excelentes para uso em diagnósticos.

Nos equipamentos PET/CT dedicados, duas unidades distintas trabalham em conjunto, permitindo a realização de estudos com o registro de informações anatômicas fornecidas pelas imagens do CT, seguido do registro do metabolismo do FDG determinado pelo PET (ANDERSON e MATHEUS 2002). A viabilidade de imagens anatômicas e funcionais do paciente em um mesmo sistema, que permite a detecção e localização de lesões os quais ajudam na interpretação de imagens de corpo inteiro, tem revolucionado e estabelecido o importante papel do PET/CT no diagnóstico e acompanhamento de pacientes em diversas áreas da medicina, particularmente na oncologia (PANT e SENTHAMIZHCHELVAN, 2006).

Células cancerígenas apresentam o metabolismo glicolítico alterado devido ao aumento no número de células de superfície transportadoras de glicose e no aumento dos níveis intracelulares das enzimas hexoquinase e fosfofrutoquinase que promovem a glicólise. Este aumento da taxa glicolítica é facilmente visualizado, utilizando-se flúor-2-deoxy-D-glicose (FDG) para aquisição de imagens. Uma vez dentro da célula, o FDG é fosforilado pela hexoquinase em FDG-6-fosfato. O FDG-6-fosfato não é metabolizado rapidamente e se acumula intracelularmente (International Atomic Energy Agency – IAEA 2008).

Apesar de ter sua utilização voltada, principalmente, para a oncologia por ter importante aplicação no diagnóstico precoce, estadiamento, monitoração de terapias e avaliação de recorrência tumoral, seu uso

também tem se expandido para áreas como a cardiologia, neurologia e psiquiatria (IAEA 2008).

O uso de isótopos radioativos em medicina requer a implementação de técnicas de proteção radiológica; nesse sentido, para a utilização do  $^{18}\text{F}$ -FDG, uma proteção radiológica mais acurada se faz necessária, uma vez que a taxa de dose equivalente, que é definida pela dose que alcança e interage com o indivíduo, para o  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (um emissor gama com energia de 140 keV, e o isótopo mais frequentemente utilizado na rotina destes serviços) é de 0,31 mSv/h, enquanto que para o  $^{18}\text{F}$ -FDG é de 1,74 mSv/h, ou seja, cerca de 5,66 vezes maior, delimitadas pela constante específica de doses (CHIESA et al., 1997; BIXLER et al., 1999; ROBERTS et al., 2005; GUIMARÃES, 2006; PANT e SENTHAMIZHCHELVAN, 2006). Além da constante de dose de raios-gama, a dose de radiação ocupacional está ainda diretamente relacionada à quantidade de radiação presente na fonte radioativa e o tempo de exposição individual a esta fonte (BIXLER et al. 1999).

Dados atuais demonstram a necessidade de blindagens 16 vezes maiores para este tipo de emissor, quando comparados a emissores de baixa energia (GUIMARÃES, 2006; MADSEN et al., 2006). Desta forma, a quantia de chumbo necessária para se proteger adequadamente de emissores de alta energia é conseqüentemente maior, sendo o valor da camada de blindagem/barreira de chumbo para fótons de 140 keV de 0,28 mm, enquanto que, para fótons de 511 keV, esta espessura é de 4,1 mm,

atingindo-se, assim, uma taxa de dose pós-blindagem de 0,04 mSv/h para estes elementos (GUIMARÃES, 2006; ROBERTS et al., 2006).

Vários estudos demonstraram que o uso de  $^{18}\text{F}$ -FDG para exames de PET/CT aumenta a dose de exposição à radiação dos trabalhadores diretamente envolvidos na manipulação, aplicação e no posicionamento de pacientes injetados com este radiofármaco (BIXLER et al., 1999; PANT e SENTHAMIZHCHELVAN, 2006; GUILLET et al., 2005; SEIERSTAD et al., 2007).

O Setor de Medicina Nuclear do Hospital A.C. Camargo iniciou as atividades com  $^{18}\text{F}$ -FDG em agosto de 2001, atendendo, em média, 8 pacientes por semana, utilizando para aquisição das imagens um equipamento gama-câmera híbrido com detectores de coincidência, acoplado a uma ampola de CT. Em 2003, com o crescimento na procura por este exame e a expansão da produção e fornecimento deste radiofármaco pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares de São Paulo (IPEN-SP), a capacidade de atendimento aumentou 16 pacientes por semana. Com a aquisição do novo equipamento de PET/CT dedicado (GEMINI – Philips) a capacidade média de atendimento passou a ser de 12 pacientes por dia, durante quatro dias da semana. Do início das atividades clínicas com o uso de  $^{18}\text{F}$ -FDG até o final do ano de 2008, mais de 6000 pacientes foram atendidos para realização do exame de PET/CT.

Por ser referência no atendimento, assistência e pesquisa oncológica e graças aos seus modernos equipamentos, recursos tecnológicos e atendimento humanizado, o Hospital A.C. Camargo vem crescendo

continuamente. Consequentemente, o número de atendimentos das equipes de especialidades médicas e dos Centros de Diagnósticos aumentou consideravelmente.

No setor de Medicina Nuclear, a demanda de pacientes para a realização de PET/CT, assim como para os diversos exames que utilizam outros isótopos radioativos e fazem parte da rotina, acompanhou esse crescimento, resultando em um aumento na exposição dos indivíduos ocupacionalmente expostos devido à manipulação e aplicação de maiores quantidades de radioisótopos e posicionamento de um maior número de pacientes.

Preocupados em acompanhar essa crescente expansão, mantendo a qualidade no atendimento, na realização dos exames e no cumprimento das normas estabelecidas para proteção dos indivíduos ocupacionalmente expostos à radiação ionizante, foram avaliadas as variações de exposição através do estudo de variáveis registradas em relatórios de leitura mensal dos dosímetros tipo TLD e da análise das variáveis registradas no livro de controle diário do laboratório de manipulação de radioisótopos do Setor de Medicina Nuclear, esperando-se encontrar as variáveis que determinam as variações de exposição, com o intuito de minimizar a exposição e aumentar a efetividade operacional através da aplicação efetiva dos preceitos de proteção radiológica.

## 2 OBJETIVOS

Avaliar a contribuição da introdução e uso clínico do  $^{18}\text{F}$ -FDG sobre a dose de exposição mensal, recebida pela equipe técnica do Serviço de Medicina Nuclear do Departamento de Diagnóstico por Imagem do Hospital A.C. Camargo, no período compreendido entre 2000 à 2008 e suas particularidades.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Estudo retrospectivo estabelecido entre os anos de 2000 e 2008 e fundamentado na análise das variáveis registradas no livro de controle diário do laboratório de manipulação de radioisótopos do Setor de Medicina Nuclear do Departamento de Diagnóstico por Imagem do Hospital A.C. Camargo e na análise das variáveis presentes no registro da leitura mensal dos dosímetros tipo TLD (termoluminescentes), utilizado ao nível do tórax e punho, individualmente, pela equipe técnica do laboratório de radioisótopos deste setor.

Foram estudados os registros de sete indivíduos ocupacionalmente expostos. Por questões de confidencialidade, a identidade destes indivíduos foi mantida em sigilo. Por sorteio, estes foram identificados por letras de A a G.

A partir destas informações, dois bancos de dados distintos foram construídos e correlacionados pelo estudo.

O primeiro banco de dados (BD 01) foi obtido a partir do anexo I e consiste nos registros que são realizados rotineiramente no laboratório de radioisótopos em função das normas CNEN NN-6.01 (CNEN 1998), NN-3.05 (CNEN 1996) e Legislação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (RDC nº 38, 04 de Junho de 2008) Ministério da Saúde (2008) e registram a atividade da dose manipulada e administrada ao paciente por cada indivíduo ocupacionalmente exposto (modelo – Anexo 3).

As variáveis presentes nestes registros são:

1. Número de pacientes atendidos no dia;
2. Nome completo de cada paciente;
3. Radioisótopo administrado ao paciente;
4. Atividade da dose administrada ao paciente;
5. Balanço diário da atividade de cada radioisótopo manipulado.

O segundo banco de dados (BD 02), foi obtido a partir do anexo II, e contém a dose ocupacional mensal em miliSievert recebida pelos indivíduos ocupacionalmente expostos. Este registro origina-se da leitura dos dosímetros de tórax e punho, utilizados no Setor de Medicina Nuclear, e contabilizado em relatórios específicos e individuais, fornecidos mensalmente pelo Instituto Paulista de Dosimetria das Radiações (IPDR) e que se encontram devidamente arquivados no Setor desde 1980 (modelo – Anexo 4).

Nesse relatório, constam as seguintes informações:

1. Período de utilização / registro do dosímetro;
2. Identificação do usuário;
3. Data da devolução do dosímetro;
4. Valor da leitura da dose mensal;
5. Valor da dose acumulada no ano calendário;
6. Observações relativas às intercorrências ou não conformidades no processo.

Considerações acerca do desempenho das atividades dos IOE:

- O indivíduo E inicia suas atividades em 01/2003;
- O indivíduo C inicia suas atividades em 10/2004;
- O indivíduo G inicia suas atividades em 07/2005;
- Os indivíduos A, B, D e F estão no estudo desde o início, mas:
  - O indivíduo A não desempenhou suas atividades no período de 10/2004 a 09/2005, e
  - O indivíduo F não desempenhou suas atividades no período de 10/2005 a 12/2008.

Quatro fases distintas, delineadas pelas transformações e contínuo crescimento do setor de Medicina Nuclear do Hospital A.C.Camargo foram identificadas no estudo, como seguem:

1. 01/2000 a 07/2001 → atividades desenvolvidas sem a utilização de  $^{18}\text{F}$ -FDG.
2. 08/2001 a 12/2002 → início das atividades com  $^{18}\text{F}$ -FDG, com capacidade máxima de atendimento de oito pacientes por semana e utilização de equipamento gama-câmera híbrido com detectores de coincidência.
3. 01/2003 a 01/2006 → expansão da produção e fornecimento do  $^{18}\text{F}$ -FDG pelo IPEN-SP. Aumento da capacidade de atendimento para 16 pacientes por semana.
4. 02/2006 a 12/2008 → aquisição e início da utilização do equipamento PET/CT dedicado (GEMINI – Philips), período em

que a capacidade de atendimento atingiu média de 50 pacientes por semana.

No transcorrer das fases identificadas, medidas foram adotadas para minimizar a exposição dos indivíduos ocupacionalmente expostos. No período compreendido entre agosto de 2001 a dezembro de 2005, foram implantados programas de treinamento e educação continuada com ênfase em proteção radiológica; três novos membros (IOE E, IOE C e IOE G) foram incorporados ao grupo de trabalho; a punção do acesso venoso periférico do paciente passou a ser responsabilidade da equipe de enfermagem, e introduziu-se uma escala de trabalho com padronização de horários e tarefas desenvolvidas.

Com a aquisição do equipamento PET/CT dedicado no início de 2006, tornou-se possível reduzir a atividade de dose de  $^{18}\text{F}$ -FDG administrada ao paciente devido a sua maior sensibilidade e especificidade, com a ampliação da capacidade de atendimento para média de 50 pacientes por semana.

Os programas de treinamento e educação continuada foram mantidos, e uma melhor adequação na escala de trabalho foi realizada.

Para otimizar o trabalho da equipe, um separador de doses capaz de manter o frasco de  $^{18}\text{F}$ -FDG dentro da blindagem de transporte de chumbo foi desenvolvido, permitindo o fracionamento das doses sem a manipulação direta do radiofármaco. O transporte e a administração do  $^{18}\text{F}$ -FDG passou a ser realizado em um protetor de seringa com 2,2 cm de chumbo, e, uma proteção móvel de chumbo foi interposta entre o paciente e o IOE, com o

intuito de aumentar a efetividade operacional e a proteção dos trabalhadores.

### **3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Os dois bancos de dados criados resultaram em 237 planilhas que foram submetidas à análise estatística.

A análise estatística empregada para avaliação das informações obtidas no banco de dados 01 identificou a frequência e quantidade máxima de radiação a que foram expostos os indivíduos da equipe técnica, que estiveram em contato com o paciente e, as diferentes origens dos radionuclídeos destas radiações.

A análise estatística empregada para avaliação dos dados obtidos no banco de dados 02 determinou as frequências individuais e coletivas da exposição registrada pelos dosímetros TLD de tórax e de punho, durante o trabalho, além das médias, medianas e desvios padrão destes indivíduos. Gráficos foram construídos para se identificar as possíveis variações ocorridas ao longo do período nos indivíduos e no grupo como um todo.

Os dados obtidos a partir da tabulação das variáveis de ambos os bancos de dados foram correlacionados, avaliando-se o grupo individualmente e como um todo; as correlações identificaram o impacto do número de exames, modalidade de isótopo empregado e tempo de trabalho, associados às doses ocupacionais registradas.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA

A análise exploratória dos dados foi realizada através de estatísticas descritivas, construção de tabelas e de gráficos.

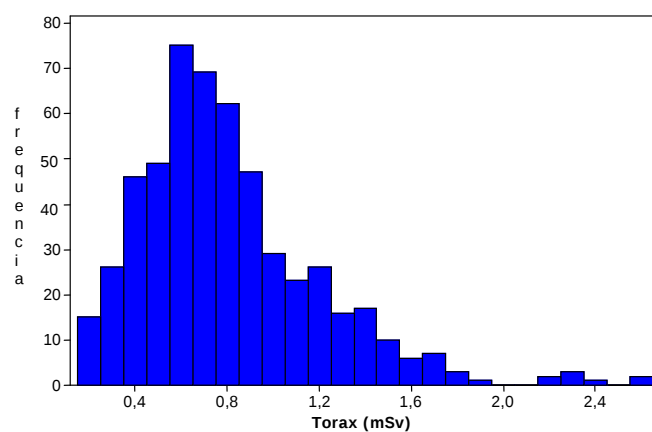
A influência de cada isótopo radioativo na dose de exposição registrada pelos dosímetros de tórax e punho utilizados por cada IOE foi avaliada por modelos lineares generalizados (GLM), considerando-se que a variável resposta (dose de exposição) segue distribuição Gama e a função de ligação (link) utilizada foi a identidade. As variáveis explicativas foram os isótopos radioativos ( $^{18}\text{F}$ -FDG,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{I}$ odo,  $^{67}\text{Gálio}$ ,  $^{177}\text{Lutécio}$ ,  $^{111}\text{Índio}$ ,  $^{131}\text{I}$ -MIBG e  $^{153}\text{Samário}$ ) e os sete indivíduos ocupacionalmente expostos (A, B, C, D, E, F e G).

O nível de confiança utilizado nas análises foi de 95%.

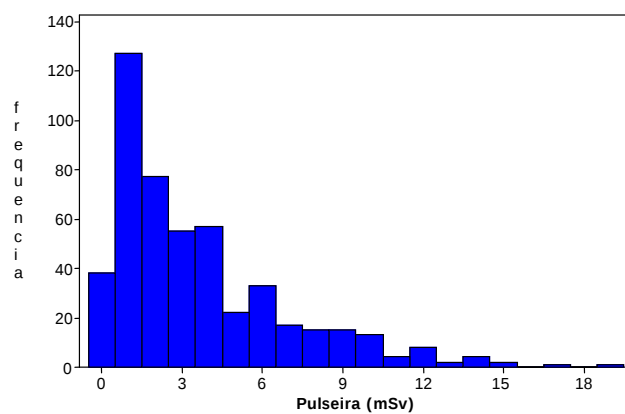
O software estatístico utilizado para estas análises foi o R 2.10.0.

A dose mensal média registrada no tórax, considerando todos os anos de estudo e todos os IOEs foi de 0,80 mSv, com desvio padrão de 0,40 mSv e variação entre 0,20 e 2,59 mSv. No punho, a dose mensal média registrada foi de 3,60 mSv, com desvio padrão de 3,29 mSv e variação entre 0,20 e 19,14 mSv.

As figuras 1 e 2 demonstram que a dose mensal no tórax e punho tem distribuição assimétrica com assimetria para a esquerda (os valores mais baixos ocorrem mais vezes), indicando ser a distribuição Gama a melhor opção para se descrever o comportamento destas variáveis.



**Figura 1** – Histograma da dose mensal no tórax.



**Figura 2** – Histograma da dose mensal no punho.

A tabela 3 demonstra as estatísticas descritivas para as doses de exposição registradas no tórax e punho, como a atividade manipulada e o número de pacientes atendidos de cada um dos isótopos radioativos analisados no estudo.

**Tabela 3** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo, considerando-se todos os IOEs.

| Variável               |    | n   | Média   | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo  |
|------------------------|----|-----|---------|---------------|--------|---------|---------|
| TÓRAX(mSv)             |    | 535 | 0,80    | 0,40          | 0,20   | 0,72    | 2,59    |
| PULSEIRA(mSv)          |    | 491 | 3,60    | 3,29          | 0,20   | 2,55    | 19,14   |
| <sup>18</sup> F-FDG    | AM | 375 | 260,30  | 170,69        | 4,66   | 234,40  | 908,70  |
|                        | NP | 375 | 17,61   | 12,13         | 1,00   | 15,00   | 78,00   |
| <sup>99m</sup> Tc      | AM | 508 | 2016,30 | 1003,10       | 92,50  | 1877,50 | 5781,60 |
|                        | NP | 508 | 74,75   | 36,56         | 4,00   | 69,00   | 223,00  |
| <sup>131</sup> IODO    | AM | 319 | 31,88   | 25,04         | 0,30   | 26,10   | 162,00  |
|                        | NP | 319 | 5,35    | 3,97          | 1,00   | 4,00    | 21,00   |
| <sup>67</sup> GÁLIO    | AM | 391 | 19,96   | 14,24         | 1,70   | 17,43   | 86,54   |
|                        | NP | 391 | 6,97    | 4,93          | 1,00   | 6,00    | 30,00   |
| <sup>111</sup> INDIO   | AM | 83  | 7,25    | 4,35          | 2,60   | 5,30    | 22,10   |
|                        | NP | 83  | 1,55    | 0,83          | 1,00   | 1,00    | 4,00    |
| <sup>177</sup> LUTÉCIO | AM | 22  | 67,90   | 150,50        | 5,00   | 11,60   | 575,20  |
|                        | NP | 22  | 2,18    | 1,53          | 1,00   | 1,50    | 6,00    |
| <sup>131</sup> I-MIBG  | AM | 212 | 2,21    | 1,36          | 0,60   | 1,87    | 6,72    |
|                        | NP | 212 | 1,95    | 1,22          | 1,00   | 1,50    | 6,00    |
| <sup>153</sup> SAMÁRIO | AM | 79  | 172,10  | 106,90        | 20,30  | 129,60  | 562,20  |
|                        | NP | 79  | 1,43    | 0,76          | 1,00   | 1,00    | 5,00    |

AM = Atividade manipulada (mCi)

NP = número de pacientes atendidos

N = número de registros

As tabelas de 4 a 10 demonstram as estatísticas descritivas para as doses de exposição, registradas no tórax e punho, como a atividade manipulada e o número de pacientes atendidos de cada um dos isótopos radioativos pelos indivíduos ocupacionalmente expostos, individualmente.

**Tabela 4** - Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo do IOE A.

| Variável               |    | n  | Média   | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo  |
|------------------------|----|----|---------|---------------|--------|---------|---------|
| TÓRAX(mSv)             |    | 95 | 0,80    | 0,31          | 0,23   | 0,74    | 1,69    |
| PULSEIRA(mSv)          |    | 90 | 4,11    | 2,79          | 0,21   | 3,46    | 11,71   |
| <sup>18</sup> F-FDG    | AM | 70 | 202,20  | 130,60        | 8,50   | 189,80  | 596,00  |
|                        | NP | 70 | 13,53   | 8,93          | 1,00   | 11,50   | 49,00   |
| <sup>99m</sup> Tc      | AM | 94 | 2317,00 | 1042,00       | 606,00 | 2370,00 | 5529,00 |
|                        | NP | 94 | 85,38   | 36,47         | 24,00  | 83,00   | 192,00  |
| <sup>131</sup> IODO    | AM | 74 | 29,74   | 19,97         | 3,45   | 27,34   | 78,79   |
|                        | NP | 74 | 4,81    | 3,45          | 1,00   | 4,00    | 18,00   |
| <sup>67</sup> GÁLIO    | AM | 89 | 25,74   | 13,19         | 2,18   | 25,05   | 71,44   |
|                        | NP | 89 | 8,97    | 4,46          | 1,00   | 9,00    | 25,00   |
| <sup>111</sup> INDIO   | AM | 17 | 6,84    | 3,53          | 3,13   | 5,50    | 14,78   |
|                        | NP | 17 | 1,47    | 0,72          | 1,00   | 1,00    | 3,00    |
| <sup>177</sup> LUTÉCIO | AM | 3  | 19,00   | 19,10         | 5,00   | 11,30   | 40,70   |
|                        | NP | 3  | 3,00    | 2,65          | 1,00   | 2,00    | 6,00    |
| <sup>131</sup> I-MIBG  | AM | 47 | 2,33    | 1,41          | 0,70   | 2,16    | 6,09    |
|                        | NP | 47 | 2,04    | 1,29          | 1,00   | 2,00    | 6,00    |
| <sup>153</sup> SAMÁRIO | AM | 18 | 180,80  | 127,20        | 20,30  | 135,00  | 562,20  |
|                        | NP | 18 | 1,39    | 0,98          | 1,00   | 1,00    | 5,00    |

AM = Atividade manipulada (mCi); NP = número de pacientes; N = número de registros

**Tabela 5** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo do IOE B.

| Variável               |    | n   | Média   | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo  |
|------------------------|----|-----|---------|---------------|--------|---------|---------|
| TÓRAX(mSv)             |    | 108 | 0,81    | 0,39          | 0,24   | 0,70    | 2,33    |
| PULSEIRA(mSv)          |    | 104 | 1,04    | 0,79          | 0,20   | 0,82    | 3,73    |
| <sup>18</sup> F-FDG    | AM | 51  | 287,20  | 223,90        | 4,66   | 269,40  | 908,70  |
|                        | NP | 51  | 22,18   | 19,03         | 1,00   | 20,00   | 78,00   |
| <sup>99m</sup> Tc      | AM | 107 | 1991,50 | 755,50        | 566,00 | 1913,80 | 5664,20 |
|                        | NP | 107 | 72,15   | 29,31         | 19,00  | 69,00   | 200,00  |
| <sup>131</sup> IODO    | AM | 38  | 38,47   | 36,69         | 4,00   | 25,35   | 162,00  |
|                        | NP | 38  | 4,53    | 4,49          | 1,00   | 2,50    | 18,00   |
| <sup>67</sup> GÁLIO    | AM | 70  | 11,02   | 8,28          | 2,10   | 8,42    | 39,48   |
|                        | NP | 70  | 3,94    | 2,91          | 1,00   | 3,00    | 13,00   |
| <sup>111</sup> INDIO   | AM | 7   | 7,02    | 3,33          | 2,60   | 7,50    | 11,10   |
|                        | NP | 7   | 1,71    | 0,49          | 1,00   | 2,00    | 2,00    |
| <sup>177</sup> LUTÉCIO | AM | 7   | 12,89   | 7,17          | 5,10   | 11,80   | 26,30   |
|                        | NP | 7   | 2,29    | 1,60          | 1,00   | 2,00    | 5,00    |
| <sup>131</sup> I-MIBG  | AM | 58  | 2,24    | 1,42          | 0,60   | 1,87    | 6,36    |
|                        | NP | 58  | 2,05    | 1,36          | 1,00   | 2,00    | 6,00    |
| <sup>153</sup> SAMÁRIO | AM | 12  | 159,50  | 65,20         | 60,80  | 155,50  | 264,00  |
|                        | NP | 12  | 1,42    | 0,67          | 1,00   | 1,00    | 3,00    |

AM = Atividade manipulada (mCi)

NP = número de pacientes

N = número de registros

**Tabela 6** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo do IOE C.

| Variável               |    | n  | Média   | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo  |
|------------------------|----|----|---------|---------------|--------|---------|---------|
| TÓRAX(mSv)             |    | 49 | 0,71    | 0,32          | 0,20   | 0,70    | 1,90    |
| PULSEIRA(mSv)          |    | 38 | 2,94    | 1,34          | 0,65   | 2,97    | 6,06    |
| <sup>18</sup> F-FDG    | AM | 36 | 263,10  | 79,10         | 105,00 | 261,90  | 489,70  |
|                        | NP | 36 | 21,78   | 8,09          | 3,00   | 22,00   | 43,00   |
| <sup>99m</sup> Tc      | AM | 38 | 1094,80 | 279,80        | 558,50 | 1123,10 | 1771,40 |
|                        | NP | 38 | 42,16   | 11,09         | 23,00  | 40,50   | 72,00   |
| <sup>131</sup> IODO    | AM | 19 | 26,04   | 24,89         | 3,14   | 15,51   | 85,39   |
|                        | NP | 19 | 5,32    | 3,99          | 1,00   | 4,00    | 15,00   |
| <sup>67</sup> GALIO    | AM | 13 | 6,35    | 4,06          | 2,50   | 5,47    | 15,52   |
|                        | NP | 13 | 2,00    | 1,29          | 1,00   | 2,00    | 5,00    |
| <sup>111</sup> INDIO   | AM | 10 | 8,42    | 4,20          | 4,01   | 7,89    | 17,54   |
|                        | NP | 10 | 1,80    | 0,79          | 1,00   | 2,00    | 3,00    |
| <sup>177</sup> LUTÉCIO | AM | 3  | 256,00  | 287,00        | 21,60  | 170,00  | 575,00  |
|                        | NP | 3  | 2,67    | 1,53          | 1,00   | 3,00    | 4,00    |
| <sup>131</sup> I-MIBG  | AM | 5  | 1,20    | 0,43          | 0,90   | 1,01    | 1,95    |
|                        | NP | 5  | 1,20    | 0,45          | 1,00   | 1,00    | 2,00    |
| <sup>153</sup> SAMÁRIO | AM | 3  | 233,90  | 113,40        | 109,90 | 259,30  | 332,40  |
|                        | NP | 3  | 1,67    | 0,58          | 1,00   | 2,00    | 2,00    |

AM = Atividade manipulada (mCi)

NP = número de pacientes

N = número de registros

**Tabela 7** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo do IOE D.

| Variável               |    | n   | Média   | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo  |
|------------------------|----|-----|---------|---------------|--------|---------|---------|
| TÓRAX(mSv)             |    | 107 | 0,99    | 0,51          | 0,23   | 0,89    | 2,59    |
| PULSEIRA(mSv)          |    | 108 | 7,08    | 3,51          | 1,69   | 6,19    | 16,82   |
| <sup>18</sup> F-FDG    | AM | 88  | 317,10  | 208,10        | 13,60  | 271,70  | 897,90  |
|                        | NP | 88  | 18,76   | 10,47         | 1,00   | 18,00   | 55,00   |
| <sup>99m</sup> Tc      | AM | 107 | 2734,00 | 1091,00       | 395,00 | 2682,00 | 5782,00 |
|                        | NP | 107 | 101,34  | 40,15         | 19,00  | 99,00   | 223,00  |
| <sup>131</sup> IODO    | AM | 100 | 35,04   | 23,92         | 3,13   | 28,72   | 103,37  |
|                        | NP | 100 | 6,30    | 4,22          | 1,00   | 5,50    | 21,00   |
| <sup>67</sup> GÁLIO    | AM | 103 | 24,89   | 15,13         | 2,63   | 23,11   | 86,54   |
|                        | NP | 103 | 8,67    | 5,26          | 1,00   | 8,00    | 30,00   |
| <sup>111</sup> INDIO   | AM | 19  | 6,26    | 3,59          | 3,38   | 5,03    | 15,33   |
|                        | NP | 19  | 1,32    | 0,67          | 1,00   | 1,00    | 3,00    |
| <sup>177</sup> LUTÉCIO | AM | 2   | 233,00  | 318,00        | 7,50   | 233,00  | 458,00  |
|                        | NP | 2   | 2,50    | 2,12          | 1,00   | 2,50    | 4,00    |
| <sup>131</sup> I-MIBG  | AM | 59  | 2,43    | 1,38          | 0,95   | 2,23    | 6,04    |
|                        | NP | 59  | 2,07    | 1,23          | 1,00   | 2,00    | 6,00    |
| <sup>153</sup> SAMÁRIO | AM | 30  | 183,30  | 125,10        | 40,70  | 126,20  | 517,50  |
|                        | NP | 30  | 1,53    | 0,78          | 1,00   | 1,00    | 3,00    |

AM = Atividade manipulada (mCi)

NP = número de pacientes

N = número de registros

**Tabela 8** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo do IOE E.

| Variável               |    | n  | Média   | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo  |
|------------------------|----|----|---------|---------------|--------|---------|---------|
| TÓRAX(mSv)             |    | 68 | 0,65    | 0,35          | 0,20   | 0,58    | 2,57    |
| PULSEIRA(mSv)          |    | 56 | 2,55    | 3,26          | 0,20   | 1,36    | 19,14   |
| <sup>18</sup> F-FDG    | AM | 62 | 263,60  | 147,40        | 34,30  | 247,10  | 665,80  |
|                        | NP | 62 | 17,94   | 11,96         | 2,00   | 16,50   | 56,00   |
| <sup>99m</sup> Tc      | AM | 65 | 1311,00 | 671,00        | 92,50  | 1332,20 | 3542,20 |
|                        | NP | 65 | 53,72   | 26,98         | 4,00   | 59,00   | 131,00  |
| <sup>131</sup> iodo    | AM | 41 | 29,75   | 23,24         | 0,30   | 19,92   | 94,00   |
|                        | NP | 41 | 5,10    | 3,73          | 1,00   | 4,00    | 17,00   |
| <sup>67</sup> Gálio    | AM | 57 | 19,68   | 11,86         | 2,70   | 17,95   | 42,69   |
|                        | NP | 57 | 6,86    | 4,18          | 1,00   | 6,00    | 15,00   |
| <sup>111</sup> Indio   | AM | 16 | 9,03    | 6,36          | 3,50   | 5,98    | 22,10   |
|                        | NP | 16 | 1,81    | 1,22          | 1,00   | 1,00    | 4,00    |
| <sup>177</sup> Lutécio | AM | 4  | 19,30   | 24,10         | 5,00   | 8,45    | 55,40   |
|                        | NP | 4  | 1,25    | 0,50          | 1,00   | 1,00    | 2,00    |
| <sup>131</sup> I-MIBG  | AM | 14 | 2,34    | 1,67          | 1,10   | 1,74    | 6,72    |
|                        | NP | 14 | 2,00    | 1,36          | 1,00   | 1,50    | 5,00    |
| <sup>153</sup> Samário | AM | 3  | 128,60  | 18,80         | 115,00 | 120,80  | 150,00  |
|                        | NP | 3  | 1,00    | 0,00          | 1,00   | 1,00    | 1,00    |

AM = Atividade manipulada (mCi)

NP = número de pacientes

N = número de registros

**Tabela 9** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo do IOE F.

| Variável               |    | n  | Média   | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo  |
|------------------------|----|----|---------|---------------|--------|---------|---------|
| TÓRAX(mSv)             |    | 67 | 0,79    | 0,29          | 0,26   | 0,77    | 1,77    |
| PULSEIRA(mSv)          |    | 68 | 3,17    | 2,26          | 0,20   | 2,66    | 13,52   |
| <sup>18</sup> F-FDG    | AM | 41 | 202,60  | 131,20        | 21,80  | 186,80  | 653,40  |
|                        | NP | 41 | 9,46    | 5,17          | 2,00   | 9,00    | 24,00   |
| <sup>99m</sup> Tc      | AM | 69 | 2046,60 | 743,90        | 544,50 | 2043,90 | 4124,90 |
|                        | NP | 69 | 73,06   | 27,59         | 18,00  | 71,00   | 132,00  |
| <sup>131</sup> iodo    | AM | 32 | 26,58   | 24,09         | 3,29   | 17,50   | 123,83  |
|                        | NP | 32 | 4,59    | 3,52          | 1,00   | 3,50    | 14,00   |
| <sup>67</sup> Gálio    | AM | 53 | 16,65   | 15,55         | 1,70   | 13,79   | 73,50   |
|                        | NP | 53 | 5,81    | 5,39          | 1,00   | 4,00    | 26,00   |
| <sup>111</sup> Indio   | AM | 6  | 4,44    | 1,40          | 3,01   | 4,11    | 7,03    |
|                        | NP | 6  | 1,17    | 0,41          | 1,00   | 1,00    | 2,00    |
| <sup>177</sup> Lutécio | AM | 0  | -       | -             | -      | -       | -       |
|                        | NP | 0  | -       | -             | -      | -       | -       |
| <sup>131</sup> I-MIBG  | AM | 25 | 1,71    | 0,76          | 0,79   | 1,30    | 3,51    |
|                        | NP | 25 | 1,52    | 0,65          | 1,00   | 1,00    | 3,00    |
| <sup>153</sup> Samário | AM | 9  | 154,50  | 77,90         | 67,10  | 135,80  | 296,40  |
|                        | NP | 9  | 1,44    | 0,73          | 1,00   | 1,00    | 3,00    |

AM = Atividade manipulada (mCi)

NP = número de pacientes

N = número de registros

**Tabela 10** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax e punho e da atividade manipulada por cada isótopo radioativo ao longo de todo estudo do IOE G.

| Variável               |    | n  | Média   | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo  |
|------------------------|----|----|---------|---------------|--------|---------|---------|
| TÓRAX(mSv)             |    | 41 | 0,70    | 0,40          | 0,20   | 0,59    | 1,77    |
| PULSEIRA(mSv)          |    | 27 | 2,09    | 1,54          | 0,21   | 1,96    | 7,88    |
| <sup>18</sup> F-FDG    | AM | 27 | 251,10  | 140,90        | 52,10  | 229,60  | 579,30  |
|                        | NP | 27 | 21,85   | 11,72         | 6,00   | 20,00   | 48,00   |
| <sup>99m</sup> Tc      | AM | 28 | 1170,80 | 416,90        | 471,00 | 1307,00 | 1917,60 |
|                        | NP | 28 | 44,68   | 16,88         | 17,00  | 48,00   | 82,00   |
| <sup>131</sup> iodo    | AM | 15 | 29,19   | 24,34         | 0,50   | 22,10   | 96,40   |
|                        | NP | 15 | 6,13    | 4,07          | 1,00   | 5,00    | 16,00   |
| <sup>67</sup> Gálio    | AM | 6  | 15,37   | 12,84         | 3,05   | 12,57   | 37,74   |
|                        | NP | 6  | 5,33    | 4,41          | 1,00   | 4,50    | 13,00   |
| <sup>111</sup> -Indio  | AM | 8  | 7,75    | 4,56          | 3,40   | 5,11    | 14,50   |
|                        | NP | 8  | 1,63    | 0,92          | 1,00   | 1,00    | 3,00    |
| <sup>177</sup> Lutécio | AM | 3  | 12,17   | 7,48          | 7,70   | 8,00    | 20,80   |
|                        | NP | 3  | 1,67    | 1,16          | 1,00   | 1,00    | 3,00    |
| <sup>131</sup> I-MIBG  | AM | 4  | 1,12    | 0,06          | 1,07   | 1,10    | 1,20    |
|                        | NP | 4  | 1,00    | 0,00          | 1,00   | 1,00    | 1,00    |
| <sup>153</sup> Samário | AM | 4  | 113,87  | 14,41         | 100,06 | 114,20  | 127,00  |
|                        | NP | 4  | 1,00    | 0,00          | 1,00   | 1,00    | 1,00    |

AM = Atividade manipulada (mCi)

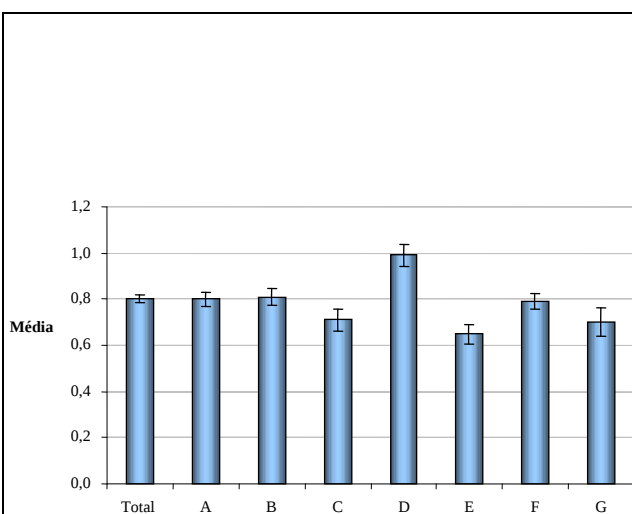
NP = número de pacientes

N = número de registros

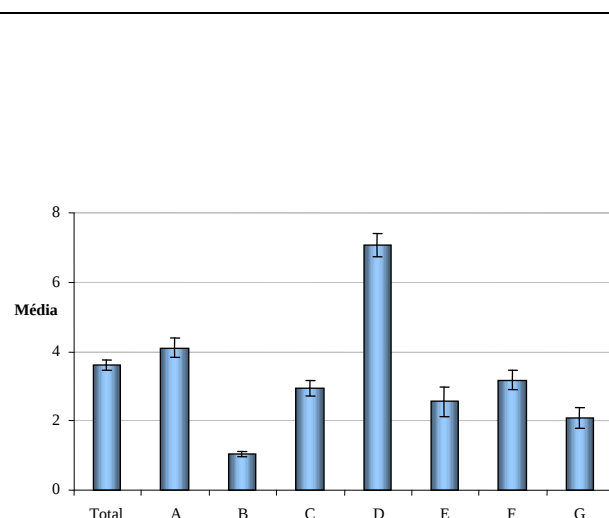
A figura 3 apresenta as médias e os erros padrão da dose de exposição mensal média no tórax ao longo do tempo para todos os indivíduos (Total) e por cada IOE, individualmente. A maior média registrada foi apresentada pelo IOE D. Os IOEs A, B e F apresentam médias bastante semelhantes entre si.

A figura 4 apresenta as médias e erros padrão da dose de exposição mensal média no punho ao longo do tempo para todos os indivíduos (Total) e por cada IOE, individualmente. O IOE D apresenta maior média em comparação com os demais. Nesta avaliação, o IOE B apresenta média inferior aos demais.

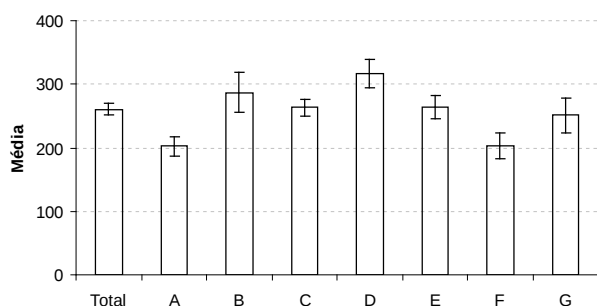
As figuras 5 a 12 apresentam a média e erro padrão da atividade manipulada de cada um dos isótopos radioativos por cada IOE e para todos conjuntamente (Total). O IOE C apresentou média inferior aos demais para os isótopos:  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{Iodo}$ ,  $^{67}\text{Gálio}$  e  $^{131}\text{I-MIBG}$  e média superior aos demais para  $^{153}\text{Samário}$ . A figura 10 deve ser interpretada com cautela, já que há apenas 22 observações para o isótopo  $^{177}\text{Lutécio}$ , em todo o estudo.



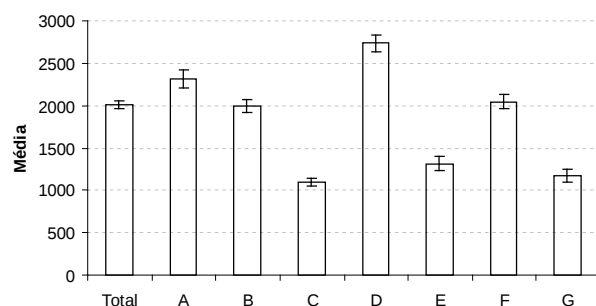
**Figura 3** – Média e erro padrão da dose no tórax ao longo do tempo total e por indivíduo



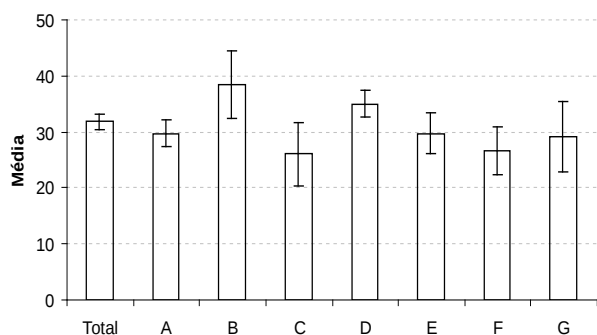
**Figura 4** – Média e erro padrão da dose no punho ao longo do tempo total e por indivíduo



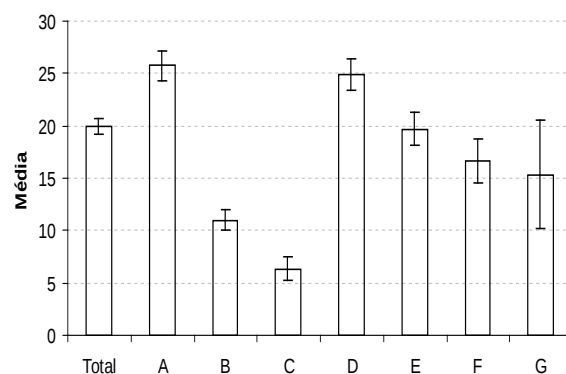
**Figura 5** – Média e erro padrão da atividade manipulada de  $^{18}\text{F-FDG}$  ao longo do tempo total e por IOE



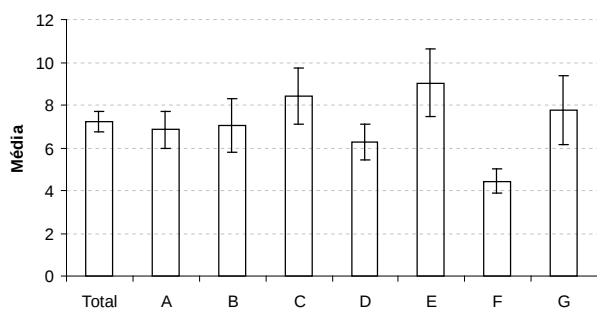
**Figura 6** – Média e erro padrão da atividade manipulada de  $^{99m}\text{Tc}$  ao longo do tempo total e por IOE



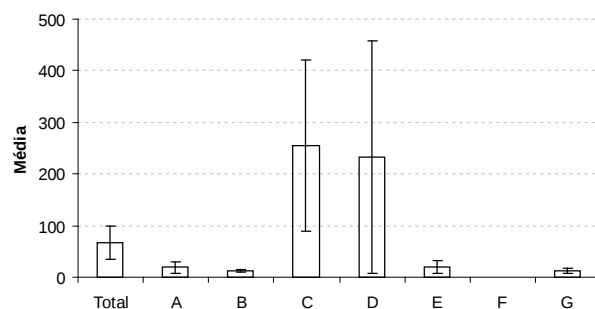
**Figura 7** – Média e erro padrão da atividade manipulada de  $^{131}\text{IODO}$  ao longo do tempo total e por IOE



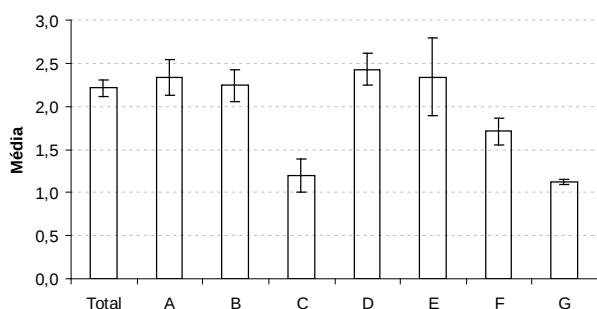
**Figura 8** – Média e erro padrão da atividade manipulada de  $^{67}\text{GÁLIO}$  ao longo do tempo total e por IOE



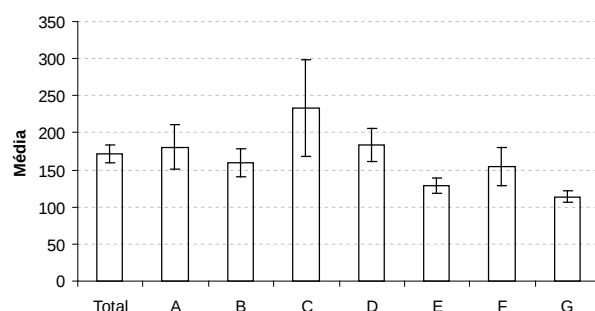
**Figura 9** – Média e erro padrão da atividade manipulada de  $^{111}\text{INDIO}$  ao longo do tempo total e por IOE



**Figura 10** – Média e erro padrão da atividade manipulada de  $^{177}\text{LUTÉCIO}$  ao longo do tempo total e por IOE



**Figura 11** – Média e erro padrão da atividade manipulada de  $^{131}\text{I-MIBG}$  ao longo do tempo total e por IOE



**Figura 12** – Média e erro padrão da atividade manipulada de  $^{153}\text{SAMÁRIO}$  ao longo do tempo total e por IOE

As tabelas a seguir (11 a 18) apresentam as estatísticas descritivas da dose de exposição no tórax por ano e indivíduo.

**Tabela 11** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, considerando todos os IOEs.

| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 47 | 0,75  | 0,29          | 0,27   | 0,71    | 1,65   |
| 2001 | 48 | 0,94  | 0,44          | 0,23   | 0,91    | 2,33   |
| 2002 | 48 | 0,86  | 0,37          | 0,26   | 0,79    | 1,68   |
| 2003 | 58 | 0,81  | 0,42          | 0,20   | 0,70    | 2,17   |
| 2004 | 59 | 1,00  | 0,52          | 0,20   | 0,87    | 2,59   |
| 2005 | 60 | 0,75  | 0,42          | 0,20   | 0,72    | 2,40   |
| 2006 | 71 | 0,65  | 0,24          | 0,22   | 0,59    | 1,52   |
| 2007 | 72 | 0,71  | 0,37          | 0,20   | 0,61    | 1,90   |
| 2008 | 72 | 0,82  | 0,35          | 0,21   | 0,74    | 1,83   |

N= número de registros mensais de dose de exposição para todos os IOE/ano

**Tabela 12** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo A.

| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 12 | 0,72  | 0,18          | 0,42   | 0,71    | 1,14   |
| 2001 | 12 | 0,89  | 0,45          | 0,23   | 0,82    | 1,69   |
| 2002 | 12 | 0,84  | 0,21          | 0,61   | 0,82    | 1,32   |
| 2003 | 11 | 0,66  | 0,13          | 0,35   | 0,68    | 0,86   |
| 2004 | 9  | 0,88  | 0,34          | 0,35   | 0,83    | 1,40   |
| 2005 | 3  | 1,16  | 0,04          | 1,12   | 1,17    | 1,19   |
| 2006 | 12 | 0,71  | 0,24          | 0,42   | 0,63    | 1,16   |
| 2007 | 12 | 0,81  | 0,39          | 0,39   | 0,73    | 1,52   |
| 2008 | 12 | 0,77  | 0,38          | 0,30   | 0,61    | 1,43   |

N= número de registros mensais de dose de exposição para o IOE A/ano

**Tabela 13** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo B.

| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 12 | 0,91  | 0,42          | 0,27   | 0,94    | 1,65   |
| 2001 | 12 | 0,92  | 0,58          | 0,28   | 0,82    | 2,33   |
| 2002 | 12 | 0,75  | 0,35          | 0,31   | 0,63    | 1,36   |
| 2003 | 12 | 0,91  | 0,36          | 0,35   | 0,81    | 1,45   |
| 2004 | 12 | 0,83  | 0,28          | 0,41   | 0,71    | 1,31   |
| 2005 | 12 | 0,69  | 0,33          | 0,33   | 0,56    | 1,50   |
| 2006 | 12 | 0,58  | 0,13          | 0,35   | 0,60    | 0,82   |
| 2007 | 12 | 0,71  | 0,34          | 0,34   | 0,69    | 1,61   |
| 2008 | 12 | 0,97  | 0,46          | 0,24   | 0,98    | 1,83   |

N= número de registros mensais de dose de exposição para o IOE B/ano

**Tabela 14** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo **C**.

| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2001 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2002 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2003 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2004 | 2  | 0,20  | 0,00          | 0,20   | 0,20    | 0,20   |
| 2005 | 11 | 0,46  | 0,21          | 0,20   | 0,44    | 0,79   |
| 2006 | 12 | 0,77  | 0,18          | 0,56   | 0,75    | 1,06   |
| 2007 | 12 | 0,81  | 0,41          | 0,33   | 0,82    | 1,90   |
| 2008 | 12 | 0,84  | 0,23          | 0,35   | 0,89    | 1,17   |

N= número de registros mensais de dose de exposição para o IOE C/ano

**Tabela 15** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo **D**.

| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 11 | 0,66  | 0,25          | 0,28   | 0,70    | 1,24   |
| 2001 | 12 | 0,94  | 0,45          | 0,36   | 0,91    | 2,16   |
| 2002 | 12 | 1,24  | 0,35          | 0,71   | 1,22    | 1,68   |
| 2003 | 12 | 1,30  | 0,51          | 0,45   | 1,29    | 2,17   |
| 2004 | 12 | 1,46  | 0,67          | 0,71   | 1,25    | 2,59   |
| 2005 | 12 | 1,16  | 0,48          | 0,74   | 0,98    | 2,40   |
| 2006 | 12 | 0,77  | 0,33          | 0,47   | 0,63    | 1,52   |
| 2007 | 12 | 0,64  | 0,39          | 0,27   | 0,50    | 1,40   |
| 2008 | 12 | 0,72  | 0,32          | 0,23   | 0,72    | 1,20   |

N= número de registros mensais de dose de exposição para o IOE D/ano

**Tabela 16** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo **E**.

| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2001 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2002 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2003 | 12 | 0,46  | 0,20          | 0,20   | 0,43    | 0,86   |
| 2004 | 12 | 1,03  | 0,56          | 0,31   | 0,90    | 2,57   |
| 2005 | 8  | 0,68  | 0,25          | 0,28   | 0,70    | 1,03   |
| 2006 | 12 | 0,63  | 0,18          | 0,39   | 0,60    | 0,98   |
| 2007 | 12 | 0,53  | 0,24          | 0,20   | 0,54    | 1,16   |
| 2008 | 12 | 0,57  | 0,17          | 0,21   | 0,56    | 0,85   |

N= número de registros mensais de dose de exposição para o IOE E/ano

**Tabela 17** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo **F**.

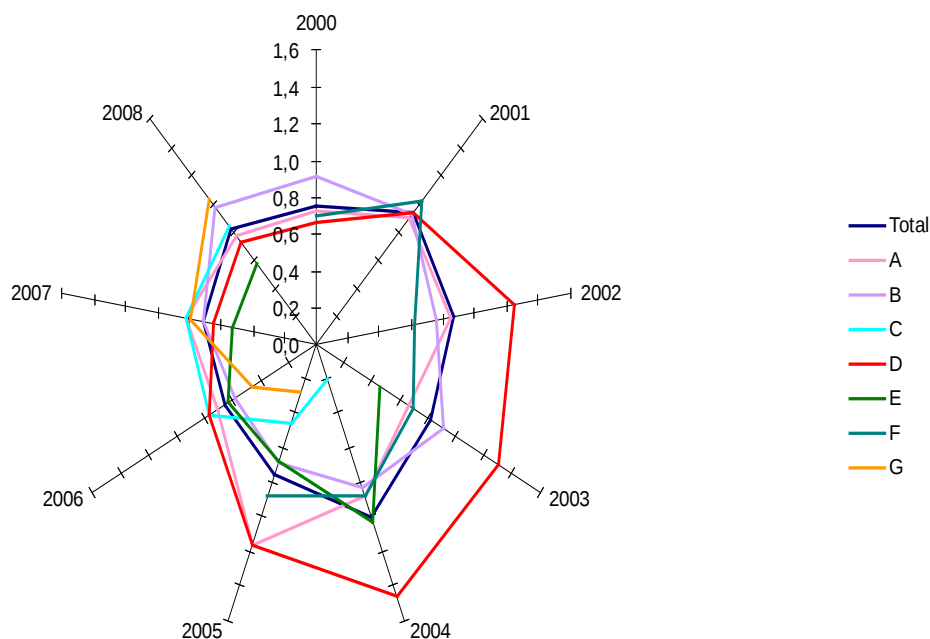
| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 12 | 0,70  | 0,19          | 0,39   | 0,69    | 0,97   |
| 2001 | 12 | 1,01  | 0,28          | 0,59   | 0,95    | 1,54   |
| 2002 | 12 | 0,62  | 0,23          | 0,26   | 0,64    | 1,04   |
| 2003 | 11 | 0,69  | 0,22          | 0,35   | 0,66    | 0,98   |
| 2004 | 12 | 0,88  | 0,30          | 0,53   | 0,89    | 1,52   |
| 2005 | 8  | 0,88  | 0,37          | 0,60   | 0,79    | 1,77   |
| 2006 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2007 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2008 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |

N= número de registros mensais de dose de exposição para o IOE F/ano

**Tabela 18** – Estatísticas descritivas da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo **G**.

| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2001 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2002 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2003 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2004 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2005 | 6  | 0,28  | 0,10          | 0,20   | 0,25    | 0,48   |
| 2006 | 11 | 0,46  | 0,17          | 0,22   | 0,46    | 0,75   |
| 2007 | 12 | 0,79  | 0,42          | 0,32   | 0,63    | 1,77   |
| 2008 | 12 | 1,03  | 0,31          | 0,62   | 1,17    | 1,41   |

N= número de registros mensais de dose de exposição para o IOE G/ano



**Figura 13** – Média da dose de exposição mensal no tórax, por ano de estudo, para todos os indivíduos (Total) e por indivíduo

Na figura 13, nos anos 2002, 2003 e 2004, o IOE D apresentou maior média quando comparado aos outros IOEs, e no ano de 2005 os IOEs A e D apresentaram as maiores médias. Em 2006, 2007 e 2008 as médias mensais de dose de exposição no tórax estão mais próximas entre os IOEs, sendo que, em 2006, o indivíduo G apresenta menor média em comparação aos demais IOEs e em 2007 e 2008 o indivíduo E tem menor média quando comparado aos outros IOEs.

As tabelas a seguir (19 a 26) apresentam as estatísticas descritivas da dose de exposição no punho por ano e indivíduo.

**Tabela 19** – Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, considerando todos os IOEs.

| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 47 | 4,93  | 3,82          | 0,20   | 4,15    | 14,90  |
| 2001 | 48 | 4,48  | 4,02          | 0,22   | 2,44    | 14,59  |
| 2002 | 45 | 4,81  | 3,91          | 0,20   | 3,91    | 13,18  |
| 2003 | 55 | 4,08  | 3,56          | 0,42   | 2,58    | 14,03  |
| 2004 | 56 | 4,39  | 4,21          | 0,55   | 2,97    | 19,14  |
| 2005 | 47 | 3,53  | 3,23          | 0,29   | 2,67    | 14,25  |
| 2006 | 64 | 2,50  | 1,73          | 0,21   | 2,15    | 7,28   |
| 2007 | 65 | 2,27  | 1,65          | 0,22   | 2,00    | 7,88   |
| 2008 | 64 | 2,52  | 1,78          | 0,20   | 2,31    | 8,33   |

N= número de registros mensais de dose de exposição para todos os IOEs/ano

**Tabela 20** – Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo A.

| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 12 | 7,03  | 1,74          | 4,05   | 6,83    | 10,73  |
| 2001 | 12 | 7,00  | 2,78          | 2,62   | 6,77    | 11,71  |
| 2002 | 10 | 5,02  | 3,33          | 1,32   | 4,95    | 10,39  |
| 2003 | 11 | 2,31  | 1,02          | 1,05   | 2,31    | 4,19   |
| 2004 | 8  | 2,91  | 1,11          | 0,85   | 3,03    | 4,45   |
| 2005 | 3  | 7,07  | 0,50          | 6,63   | 6,98    | 7,61   |
| 2006 | 12 | 2,60  | 1,54          | 0,21   | 2,39    | 5,02   |
| 2007 | 10 | 1,98  | 1,64          | 0,47   | 1,50    | 6,00   |
| 2008 | 12 | 2,51  | 1,24          | 0,59   | 2,39    | 4,15   |

N= número de registros mensais de dose de exposição para o IOE A/ano

**Tabela 21** – Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo B.

| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 12 | 1,18  | 1,04          | 0,20   | 0,75    | 3,73   |
| 2001 | 12 | 0,87  | 0,51          | 0,22   | 0,86    | 1,97   |
| 2002 | 11 | 0,68  | 0,28          | 0,20   | 0,72    | 1,11   |
| 2003 | 12 | 0,91  | 0,24          | 0,48   | 0,93    | 1,20   |
| 2004 | 12 | 0,92  | 0,29          | 0,55   | 0,91    | 1,48   |
| 2005 | 12 | 0,80  | 0,35          | 0,29   | 0,75    | 1,70   |
| 2006 | 12 | 0,71  | 0,25          | 0,39   | 0,66    | 1,21   |
| 2007 | 10 | 1,38  | 1,21          | 0,22   | 0,91    | 3,38   |
| 2008 | 11 | 2,04  | 1,26          | 0,41   | 1,73    | 3,69   |

N= número de registros mensais de dose de exposição para o IOE A/ano

**Tabela 22** – Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo **C**.

| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2001 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2002 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2003 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2004 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2005 | 3  | 4,44  | 0,98          | 3,68   | 4,09    | 5,55   |
| 2006 | 12 | 3,35  | 1,19          | 1,64   | 3,45    | 6,06   |
| 2007 | 12 | 2,56  | 1,53          | 0,65   | 2,31    | 4,80   |
| 2008 | 11 | 2,51  | 1,02          | 0,97   | 2,57    | 3,91   |

N= número de registros mensais de dose de exposição para o IOE C/ano

**Tabela 23** – Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo **D**.

| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 12 | 8,86  | 3,41          | 3,52   | 8,48    | 14,90  |
| 2001 | 12 | 8,72  | 2,97          | 3,45   | 8,93    | 14,59  |
| 2002 | 12 | 9,40  | 2,49          | 5,57   | 9,69    | 13,18  |
| 2003 | 12 | 9,05  | 2,89          | 3,83   | 9,22    | 14,03  |
| 2004 | 12 | 7,59  | 4,85          | 2,20   | 5,12    | 16,82  |
| 2005 | 12 | 7,28  | 3,18          | 3,03   | 6,85    | 14,25  |
| 2006 | 12 | 4,17  | 1,77          | 1,69   | 4,19    | 7,28   |
| 2007 | 12 | 3,63  | 1,37          | 1,70   | 3,11    | 6,19   |
| 2008 | 12 | 5,00  | 1,67          | 2,64   | 5,16    | 8,33   |

N= número de registros mensais de dose de exposição para o IOE D/ano

**Tabela 24** – Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo **E**.

| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2001 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2002 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2003 | 8  | 3,22  | 3,05          | 0,63   | 2,11    | 9,62   |
| 2004 | 12 | 6,12  | 4,90          | 0,83   | 6,53    | 19,14  |
| 2005 | 8  | 1,09  | 0,74          | 0,39   | 0,85    | 2,41   |
| 2006 | 12 | 1,74  | 1,37          | 0,22   | 1,26    | 4,73   |
| 2007 | 9  | 1,18  | 0,59          | 0,52   | 1,02    | 2,43   |
| 2008 | 7  | 0,47  | 0,36          | 0,20   | 0,34    | 1,18   |

N= número de registros mensais de dose de exposição para o IOE E/ano

**Tabela 25** – Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo F.

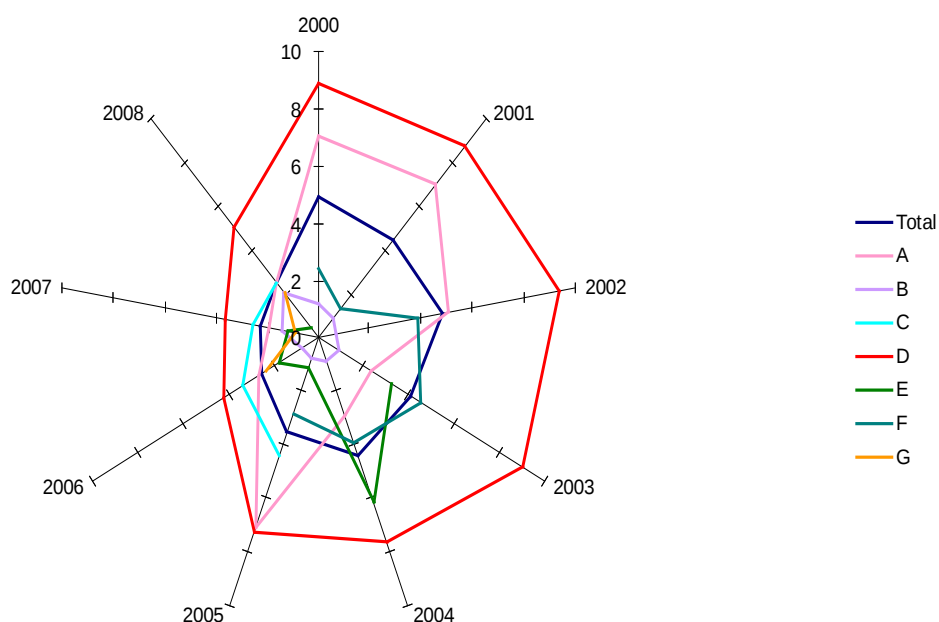
| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 11 | 2,43  | 1,46          | 0,64   | 2,05    | 5,16   |
| 2001 | 12 | 1,32  | 0,70          | 0,30   | 1,48    | 2,25   |
| 2002 | 12 | 3,83  | 2,18          | 0,20   | 3,45    | 7,14   |
| 2003 | 12 | 4,50  | 2,25          | 0,42   | 4,40    | 7,52   |
| 2004 | 12 | 3,93  | 3,26          | 1,11   | 2,97    | 13,52  |
| 2005 | 9  | 2,86  | 1,08          | 0,34   | 3,19    | 4,06   |
| 2006 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2007 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2008 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |

N= número de registros mensais de dose de exposição para o IOE F/ano

**Tabela 26** – Estatísticas descritivas da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo G.

| Ano  | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Mediana | Máximo |
|------|----|-------|---------------|--------|---------|--------|
| 2000 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2001 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2002 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2003 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2004 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2005 | 0  | -     | -             | -      | -       | -      |
| 2006 | 4  | 2,32  | 0,92          | 1,34   | 2,21    | 3,52   |
| 2007 | 12 | 2,43  | 1,99          | 0,45   | 2,15    | 7,88   |
| 2008 | 11 | 1,64  | 1,07          | 0,21   | 1,78    | 4,06   |

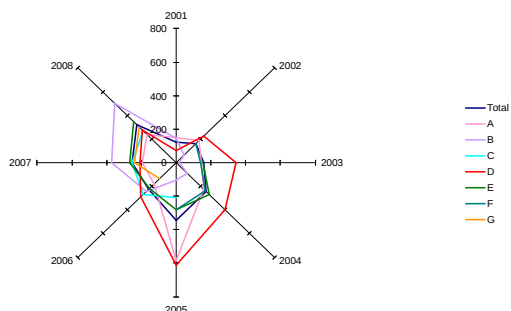
N= número de registros mensais de dose de exposição para o IOE G/ano



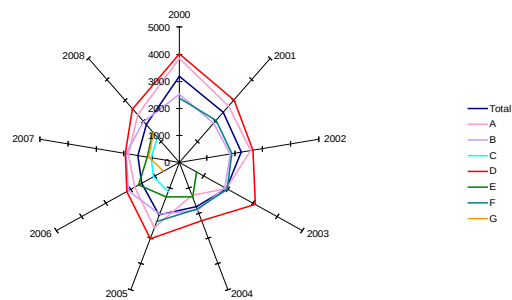
**Figura 14** – Média da dose de exposição mensal no punho, por ano de estudo, para todos os indivíduos (Total) e por indivíduo

A figura 14 demonstra que o IOE D apresenta maior média mensal de dose de exposição no punho em todos os anos, seguido do IOE A. O indivíduo B apresenta média inferior em, praticamente, todo o estudo, quando comparado aos demais.

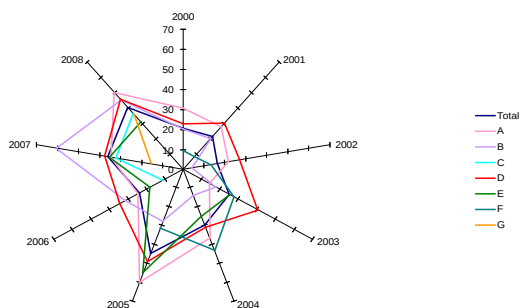
As figuras a seguir demonstram a média de atividade manipulada por IOE e ano para cada um dos isótopos radioativos estudados.



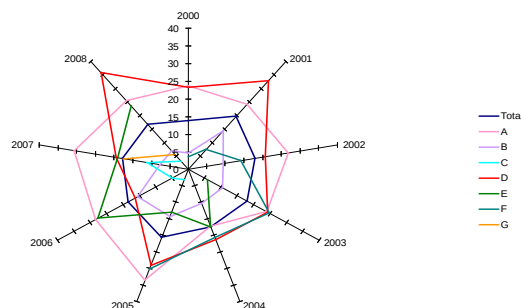
**Figura 15** – Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo –  $^{18}\text{F-FDG}$



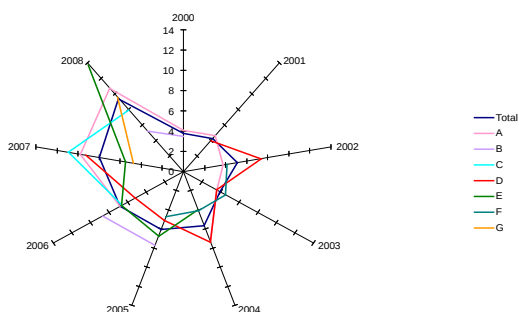
**Figura 16** – Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo –  $^{99\text{m}}\text{Tc}$



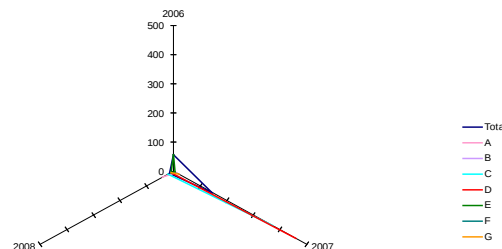
**Figura 17** – Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo –  $^{131}\text{IODO}$



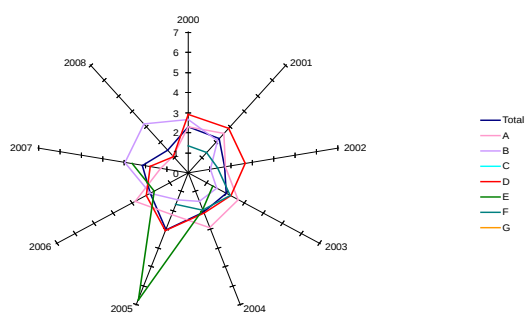
**Figura 18** – Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo –  $^{67}\text{GaLÍO}$



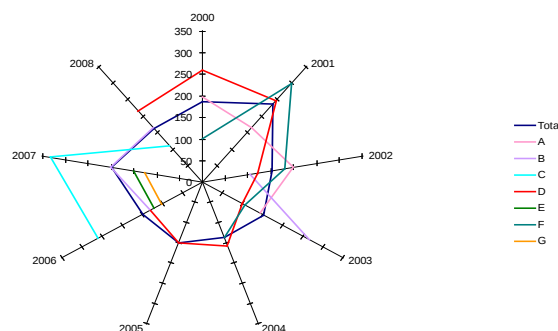
**Figura 19** – Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo –  $^{111}\text{INDIO}$



**Figura 20** – Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo –  $^{177}\text{LUTÉCIO}$

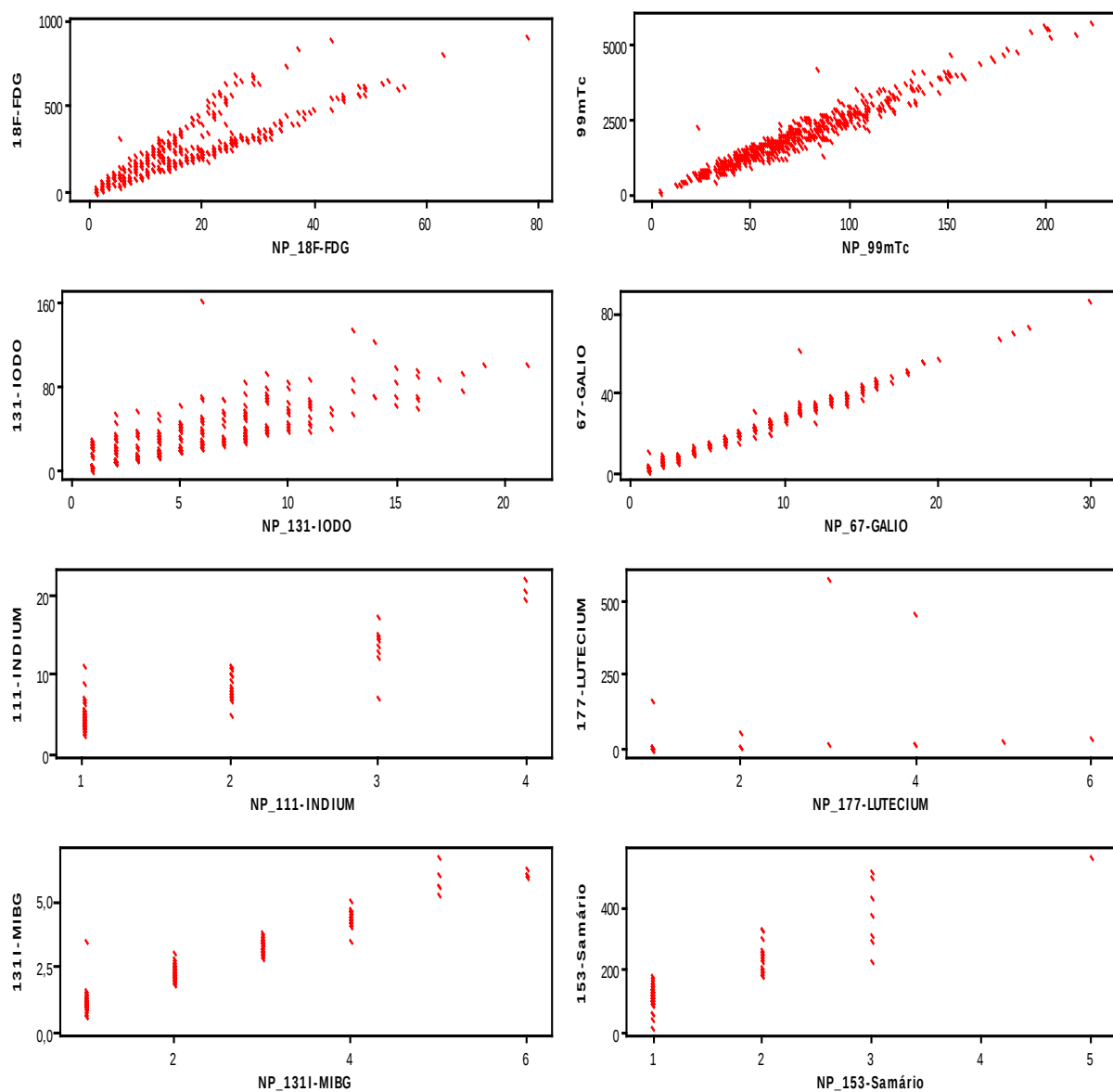


**Figura 21** – Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo –  $^{131}\text{I-MIBG}$

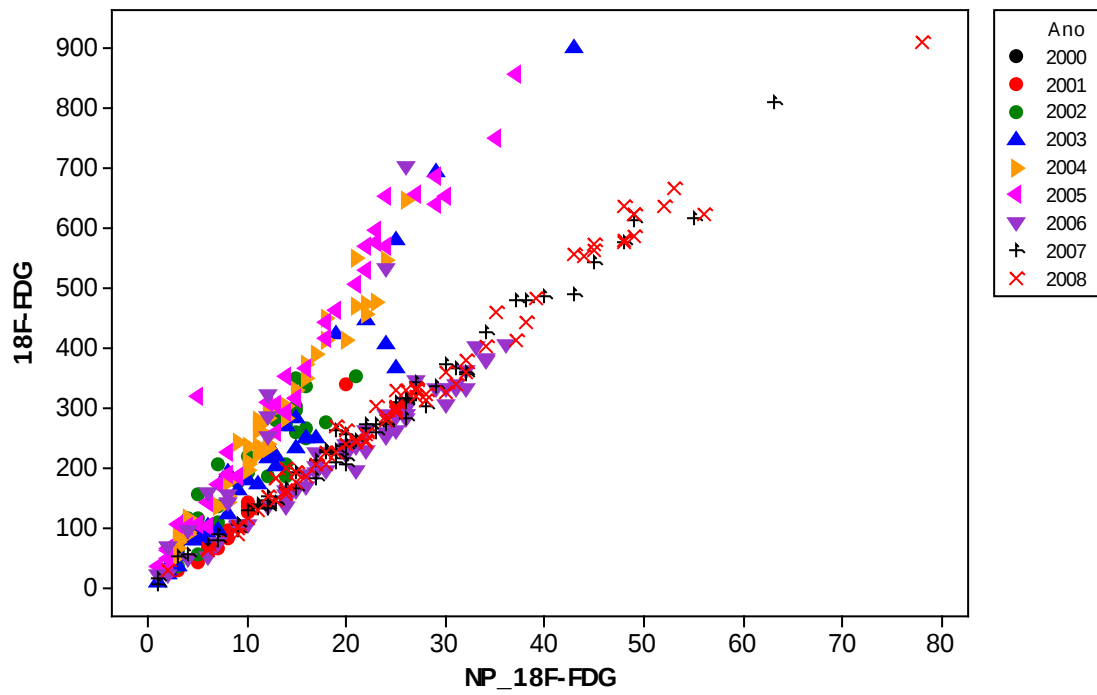


**Figura 22** – Média da atividade manipulada mensal, por ano, para todos os indivíduos em conjunto e por indivíduo –  $^{153}\text{SAMÁRIO}$

A figura 23 demonstra que, para a maioria dos isótopos, há correlação linear positiva entre o número de pacientes atendidos e a atividade manipulada. Para o isótopo  $^{18}\text{F-FDG}$  há um comportamento diferente: dois grupos distintos são observados. A figura 24 apresenta o gráfico estratificado por ano. O primeiro grupo é formado pelos anos 2000 a 2005 e o segundo grupo, pelos anos 2006, 2007 e 2008. No primeiro grupo é possível notar que a atividade manipulada é relativamente maior para o número de pacientes atendidos do que a atividade manipulada dos anos seguintes, utilizada para atender um número bem maior de pacientes.



**Figura 23** – Gráficos de dispersão entre número de pacientes atendidos e atividade manipulada para cada um dos isótopos (NP = número de pacientes)



**Figura 24** – Gráfico de dispersão entre número de pacientes atendidos e atividade manipulada para  $^{18}\text{F}$ -FDG

#### 4.1.1 Indivíduo A

O IOE A desempenhou suas atividades entre janeiro de 2000 e setembro de 2004. Afastou-se no período compreendido entre outubro de 2004 a setembro de 2005. Retornou em outubro de 2005 e manteve-se até dezembro de 2008. Em março de 2003, o dosímetro de tórax registrou dose inferior a 0,20 mSv. De outubro de 2004 a setembro de 2005, não houve registro de dose para este indivíduo nos dosímetros de tórax e pulso devido ao seu afastamento. O dosímetro de pulso registrou dose inferior a 0,20 mSv nos meses de março de 2003, setembro de 2004 e maio de 2007.

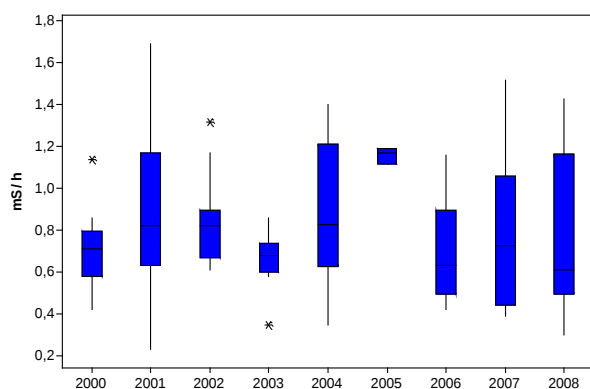
A dose média mensal registrada no dosímetro do tórax manteve-se entre 0,66 e 0,88 mSv entre os anos de 2000 e 2008, exceto no ano de 2005, que teve média de 1,16 mSv, porém neste ano, apenas os 3 últimos meses foram trabalhados e há apenas o registro de dose deste período.

A dose média mensal no punho registra um decréscimo a partir de 2003, também desconsiderando-se o ano de 2005.

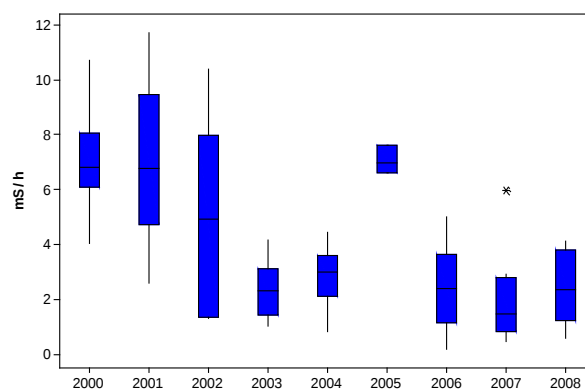
**Tabela 27** – Estatísticas descritivas da **dose de exposição mensal no tórax e no punho**, por ano de estudo, para o **indivíduo A**.

| Ano  | Tórax |       |               | n  | Punho |               |
|------|-------|-------|---------------|----|-------|---------------|
|      | N     | Média | Desvio Padrão |    | Média | Desvio Padrão |
| 2000 | 12    | 0,72  | 0,18          | 12 | 7,03  | 1,74          |
| 2001 | 12    | 0,89  | 0,45          | 12 | 7,00  | 2,78          |
| 2002 | 12    | 0,84  | 0,21          | 10 | 5,02  | 3,33          |
| 2003 | 11    | 0,66  | 0,13          | 11 | 2,31  | 1,02          |
| 2004 | 9     | 0,88  | 0,34          | 8  | 2,91  | 1,11          |
| 2005 | 3     | 1,16  | 0,04          | 3  | 7,07  | 0,50          |
| 2006 | 12    | 0,71  | 0,24          | 12 | 2,60  | 1,54          |
| 2007 | 12    | 0,81  | 0,39          | 10 | 1,98  | 1,64          |
| 2008 | 12    | 0,77  | 0,38          | 12 | 2,51  | 1,24          |

N= número de registros mensais de dose de exposição



**Figura 25** – boxplot da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo A



**Figura 26** – boxplot da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo A

**Tabela 28** – Estatísticas descritivas da atividade manipulada para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo A.

| Ano  | <sup>18</sup> F-FDG |       |       | <sup>99m</sup> Tc |        |        | <sup>131</sup> IO DO |      |      | <sup>67</sup> GALIO |      |      | <sup>111</sup> INDIO |      |     | <sup>177</sup> LUTECIO |      |     | <sup>131</sup> I-MIBG |     |     | <sup>153</sup> Samário |       |       |
|------|---------------------|-------|-------|-------------------|--------|--------|----------------------|------|------|---------------------|------|------|----------------------|------|-----|------------------------|------|-----|-----------------------|-----|-----|------------------------|-------|-------|
|      | n                   | M     | DP    | N                 | M      | DP     | n                    | M    | DP   | n                   | M    | DP   | n                    | M    | DP  | N                      | M    | DP  | n                     | M   | DP  | n                      | M     | DP    |
| 2000 | 0                   | -     | -     | 12                | 3852,0 | 937,0  | 12                   | 30,6 | 17,1 | 12                  | 23,7 | 8,0  | 3                    | 4,1  | 0,9 | 0                      | -    | -   | 11                    | 2,3 | 1,3 | 5                      | 197,5 | 113,8 |
| 2001 | 4                   | 149,0 | 131,1 | 12                | 2698,0 | 1096,0 | 12                   | 27,5 | 17,2 | 12                  | 24,2 | 11,5 | 1                    | 4,7  | -   | 0                      | -    | -   | 9                     | 2,6 | 1,8 | 7                      | 164,4 | 77,2  |
| 2002 | 10                  | 187,5 | 83,3  | 12                | 2528,0 | 945,0  | 11                   | 21,5 | 14,3 | 11                  | 26,7 | 15,9 | 2                    | 3,8  | 0,4 | 0                      | -    | -   | 8                     | 1,7 | 1,3 | 4                      | 199,0 | 246,0 |
| 2003 | 10                  | 145,0 | 88,5  | 11                | 1906,0 | 715,0  | 8                    | 14,3 | 14,0 | 10                  | 23,8 | 11,1 | 1                    | 3,6  | -   | 0                      | -    | -   | 6                     | 2,7 | 1,6 | 1                      | 141,7 | -     |
| 2004 | 9                   | 220,7 | 107,2 | 9                 | 1307,0 | 508,0  | 5                    | 36,6 | 21,0 | 6                   | 17,3 | 6,3  | 1                    | 7,3  | -   | 0                      | -    | -   | 5                     | 2,9 | 1,3 | 0                      | -     | -     |
| 2005 | 2                   | 582,4 | 19,3  | 2                 | 2557,8 | 20,9   | 2                    | 60,2 | 26,2 | 2                   | 33,6 | 10,3 | 0                    | -    | -   | 0                      | -    | -   | 1                     | 2,2 | -   | 0                      | -     | -     |
| 2006 | 12                  | 175,0 | 67,6  | 12                | 1815,0 | 640,0  | 10                   | 24,4 | 13,7 | 12                  | 28,3 | 21,6 | 3                    | 6,8  | 1,2 | 0                      | -    | -   | 4                     | 2,8 | 1,4 | 0                      | -     | -     |
| 2007 | 11                  | 192,6 | 121,4 | 12                | 1822,0 | 473,0  | 6                    | 34,1 | 26,0 | 12                  | 30,6 | 12,0 | 4                    | 9,8  | 5,0 | 2                      | 8,2  | 4,5 | 1                     | 1,3 | -   | 1                      | 181,2 | -     |
| 2008 | 12                  | 238,9 | 175,0 | 12                | 2284,0 | 771,0  | 8                    | 50,1 | 21,4 | 12                  | 25,6 | 11,5 | 2                    | 10,7 | 0,6 | 1                      | 40,7 | -   | 2                     | 1,1 | 0,0 | 0                      | -     | -     |

M = Média

DP = desvio padrão

N= número de registros mensais

**Tabela 29** – Estatísticas descritivas do número de pacientes atendidos para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo A.

| Ano  | <sup>18</sup> F-FDG |      |      | <sup>99m</sup> Tc |       |      | <sup>131</sup> IO DO |     |     | <sup>67</sup> GALIO |      |     | <sup>111</sup> INDIO |     |     | <sup>177</sup> LUTECIO |     |     | <sup>131</sup> I-MIBG |     |     | <sup>153</sup> Samário |     |     |
|------|---------------------|------|------|-------------------|-------|------|----------------------|-----|-----|---------------------|------|-----|----------------------|-----|-----|------------------------|-----|-----|-----------------------|-----|-----|------------------------|-----|-----|
|      | N                   | M    | DP   | N                 | M     | DP   | n                    | M   | DP  | n                   | M    | DP  | n                    | M   | DP  | n                      | M   | DP  | n                     | M   | DP  | n                      | M   | DP  |
| 2000 | 0                   | -    | -    | 12                | 136,3 | 36,8 | 12                   | 4,0 | 2,0 | 12                  | 8,3  | 2,5 | 3                    | 1,0 | 0,0 | 0                      | -   | -   | 11                    | 1,9 | 1,0 | 5                      | 1,4 | 0,5 |
| 2001 | 4                   | 10,8 | 6,5  | 12                | 101,3 | 38,7 | 12                   | 3,6 | 1,6 | 12                  | 8,8  | 4,2 | 1                    | 1,0 | -   | 0                      | -   | -   | 9                     | 2,3 | 1,8 | 7                      | 1,1 | 0,4 |
| 2002 | 10                  | 9,7  | 4,5  | 12                | 91,7  | 31,5 | 11                   | 3,9 | 2,4 | 11                  | 9,6  | 5,7 | 2                    | 1,0 | 0,0 | 0                      | -   | -   | 8                     | 1,5 | 1,1 | 4                      | 2,0 | 2,0 |
| 2003 | 10                  | 7,8  | 4,4  | 11                | 70,6  | 27,0 | 8                    | 3,0 | 1,9 | 10                  | 8,5  | 4,1 | 1                    | 1,0 | -   | 0                      | -   | -   | 6                     | 2,3 | 1,5 | 1                      | 1,0 | -   |
| 2004 | 9                   | 10,4 | 4,2  | 9                 | 54,8  | 22,6 | 5                    | 5,4 | 2,7 | 6                   | 6,0  | 2,3 | 1                    | 2,0 | -   | 0                      | -   | -   | 5                     | 2,6 | 1,1 | 0                      | -   | -   |
| 2005 | 2                   | 23,5 | 0,7  | 2                 | 101,0 | 0,0  | 2                    | 7,5 | 2,1 | 2                   | 12,0 | 4,2 | 0                    | -   | -   | 0                      | -   | -   | 1                     | 2,0 | -   | 0                      | -   | -   |
| 2006 | 12                  | 13,8 | 4,5  | 12                | 67,2  | 20,8 | 10                   | 5,0 | 3,1 | 12                  | 9,1  | 6,6 | 3                    | 1,7 | 0,6 | 0                      | -   | -   | 4                     | 2,5 | 1,3 | 0                      | -   | -   |
| 2007 | 11                  | 16,6 | 9,9  | 12                | 70,8  | 19,5 | 6                    | 4,8 | 5,2 | 12                  | 10,6 | 4,2 | 4                    | 2,0 | 1,2 | 2                      | 1,5 | 0,7 | 1                     | 1,0 | -   | 1                      | 1,0 | -   |
| 2008 | 12                  | 19,9 | 14,4 | 12                | 79,0  | 27,3 | 8                    | 9,6 | 5,3 | 12                  | 8,9  | 4,1 | 2                    | 1,5 | 0,7 | 1                      | 6,0 | -   | 2                     | 1,0 | 0,0 | 0                      | -   | -   |

M = Média

DP = desvio padrão

N= número de registros mensais

#### 4.1.2 Indivíduo B

O IOE B desempenhou suas atividades entre janeiro de 2000 a dezembro de 2008. Em maio de 2002, junho e julho de 2007 e março de 2008 o dosímetro do punho registrou dose inferior a 0,20 mSv.

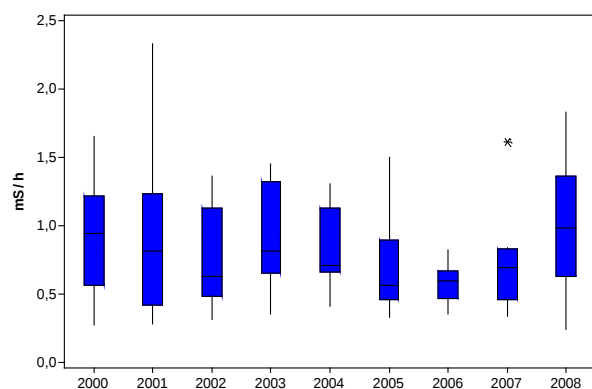
A menor dose de exposição média registrada no dosímetro de tórax foi no ano de 2006 (0,58 mSv) e a maior dose média registrada em 2008 (0,97 mSv).

No dosímetro de punho, os anos 2007 e 2008 registraram as maiores médias, 1,4 e 2,0 mSv respectivamente, enquanto que a menor média registrada ocorreu nos anos 2002 e 2006 (0,7 mSv).

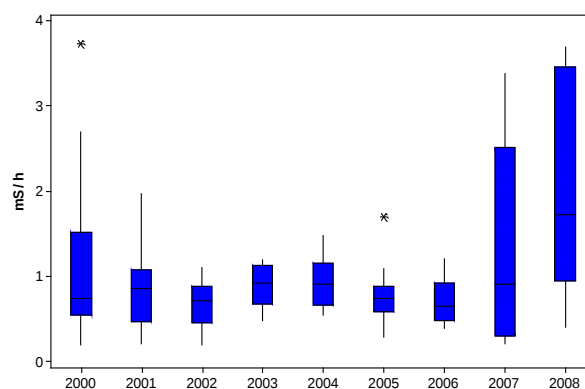
**Tabela 30** – Estatísticas descritivas da **dose de exposição mensal no tórax e no punho**, por ano de estudo, para o **indivíduo B**.

| Ano  | Tórax |       |               | n  | Punho |               |
|------|-------|-------|---------------|----|-------|---------------|
|      | N     | Média | Desvio Padrão |    | Média | Desvio Padrão |
| 2000 | 12    | 0,91  | 0,42          | 12 | 1,2   | 1,0           |
| 2001 | 12    | 0,92  | 0,58          | 12 | 0,9   | 0,5           |
| 2002 | 12    | 0,75  | 0,35          | 11 | 0,7   | 0,3           |
| 2003 | 12    | 0,91  | 0,36          | 12 | 0,9   | 0,2           |
| 2004 | 12    | 0,83  | 0,28          | 12 | 0,9   | 0,3           |
| 2005 | 12    | 0,69  | 0,33          | 12 | 0,8   | 0,4           |
| 2006 | 12    | 0,58  | 0,13          | 12 | 0,7   | 0,3           |
| 2007 | 12    | 0,71  | 0,34          | 10 | 1,4   | 1,2           |
| 2008 | 12    | 0,97  | 0,46          | 11 | 2,0   | 1,3           |

N= número de registros mensais de dose de exposição



**Figura 27** – boxplot da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo B



**Figura 28** – boxplot da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo B

**Tabela 31** – Estatísticas descritivas da atividade manipulada para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo B.

| Ano  | <sup>18</sup> F-FDG |       |       | <sup>99m</sup> Tc |        |        | <sup>131</sup> IODO |      |      | <sup>67</sup> GALIO |      |      | <sup>111</sup> INDIO |     |     | <sup>177</sup> LUTECIO |      |     | <sup>131</sup> I-MIBG |     |     | <sup>153</sup> Samário |       |      |
|------|---------------------|-------|-------|-------------------|--------|--------|---------------------|------|------|---------------------|------|------|----------------------|-----|-----|------------------------|------|-----|-----------------------|-----|-----|------------------------|-------|------|
|      | n                   | M     | DP    | n                 | M      | DP     | n                   | M    | DP   | n                   | M    | DP   | n                    | M   | DP  | n                      | M    | DP  | n                     | M   | DP  | n                      | M     | DP   |
| 2000 | 0                   | -     | -     | 12                | 2506,0 | 1367,0 | 1                   | 20,0 | -    | 6                   | 4,5  | 2,6  | 1                    | 3,5 | -   | 0                      | -    | -   | 3                     | 2,7 | 0,4 | 0                      | -     | -    |
| 2001 | 1                   | 142,5 | -     | 12                | 1871,0 | 932,0  | 1                   | 20,1 | -    | 6                   | 14,3 | 12,9 | 0                    | -   | -   | 0                      | -    | -   | 5                     | 2,1 | 2,4 | 0                      | -     | -    |
| 2002 | 1                   | 61,2  | -     | 12                | 1831,0 | 526,0  | 1                   | 4,0  | -    | 12                  | 9,4  | 9,1  | 0                    | -   | -   | 0                      | -    | -   | 5                     | 1,0 | 0,0 | 2                      | 104,0 | 0,0  |
| 2003 | 2                   | 17,5  | 12,8  | 12                | 1860,0 | 615,0  | 2                   | 17,4 | 18,7 | 8                   | 10,6 | 6,6  | 0                    | -   | -   | 0                      | -    | -   | 1                     | 1,5 | -   | 1                      | 264,0 | -    |
| 2004 | 4                   | 90,3  | 16,8  | 12                | 1889,0 | 626,0  | 5                   | 13,7 | 8,7  | 11                  | 10,3 | 6,2  | 0                    | -   | -   | 0                      | -    | -   | 3                     | 1,5 | 0,4 | 0                      | -     | -    |
| 2005 | 7                   | 103,6 | 74,9  | 11                | 2021,0 | 534,0  | 1                   | 27,8 | -    | 11                  | 14,3 | 6,5  | 3                    | 7,7 | 4,5 | 0                      | -    | -   | 9                     | 1,4 | 0,6 | 0                      | -     | -    |
| 2006 | 12                  | 242,4 | 136,2 | 12                | 2079,0 | 558,0  | 6                   | 31,4 | 23,8 | 9                   | 15,6 | 10,4 | 2                    | 8,8 | 1,8 | 0                      | -    | -   | 9                     | 2,0 | 1,2 | 3                      | 129,5 | 73,4 |
| 2007 | 12                  | 372,2 | 230,1 | 12                | 1903,0 | 526,0  | 10                  | 60,1 | 37,7 | 4                   | 7,8  | 8,5  | 0                    | -   | -   | 5                      | 13,7 | 8,6 | 12                    | 2,9 | 1,5 | 2                      | 200,4 | 45,8 |
| 2008 | 12                  | 495,7 | 201,2 | 12                | 1966,0 | 698,0  | 11                  | 45,1 | 47,0 | 3                   | 6,7  | 0,9  | 1                    | 5,2 | -   | 2                      | 10,9 | 1,3 | 11                    | 3,2 | 1,4 | 4                      | 163,2 | 59,7 |

M = Média

DP = desvio padrão

N= número de registros mensais

**Tabela 32** – Estatísticas descritivas do número de pacientes atendidos para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo B.

| Ano  | <sup>18</sup> F-FDG |      |      | <sup>99m</sup> Tc |      |      | <sup>131</sup> IODO |     |     | <sup>67</sup> GALIO |     |     | <sup>111</sup> INDIO |     |     | <sup>177</sup> LUTECIO |     |     | <sup>131</sup> I-MIBG |     |     | <sup>153</sup> Samário |     |     |
|------|---------------------|------|------|-------------------|------|------|---------------------|-----|-----|---------------------|-----|-----|----------------------|-----|-----|------------------------|-----|-----|-----------------------|-----|-----|------------------------|-----|-----|
|      | N                   | M    | DP   | N                 | M    | DP   | n                   | M   | DP  | n                   | M   | DP  | n                    | M   | DP  | n                      | M   | DP  | n                     | M   | DP  | n                      | M   | DP  |
| 2000 | 0                   | -    | -    | 12                | 83,8 | 48,7 | 1                   | 1,0 | -   | 6                   | 1,7 | 1,0 | 1                    | 1,0 | -   | 0                      | -   | -   | 3                     | 2,0 | 0,0 | 0                      | -   | -   |
| 2001 | 1                   | 10,0 | -    | 12                | 62,1 | 37,9 | 1                   | 5,0 | -   | 6                   | 5,2 | 4,0 | 0                    | -   | -   | 0                      | -   | -   | 5                     | 2,0 | 2,2 | 0                      | -   | -   |
| 2002 | 1                   | 3,0  | -    | 12                | 56,1 | 15,7 | 1                   | 1,0 | -   | 12                  | 3,8 | 3,8 | 0                    | -   | -   | 0                      | -   | -   | 5                     | 1,0 | 0,0 | 2                      | 1,0 | 0,0 |
| 2003 | 2                   | 1,5  | 0,7  | 12                | 62,6 | 19,5 | 2                   | 1,0 | 0,0 | 8                   | 3,8 | 2,3 | 0                    | -   | -   | 0                      | -   | -   | 1                     | 1,0 | -   | 1                      | 2,0 | -   |
| 2004 | 4                   | 3,5  | 0,6  | 12                | 70,2 | 24,7 | 5                   | 1,6 | 1,3 | 11                  | 3,6 | 2,1 | 0                    | -   | -   | 0                      | -   | -   | 3                     | 1,3 | 0,6 | 0                      | -   | -   |
| 2005 | 7                   | 4,0  | 2,9  | 11                | 76,0 | 20,8 | 1                   | 1,0 | -   | 11                  | 5,0 | 2,1 | 3                    | 1,7 | 0,6 | 0                      | -   | -   | 9                     | 1,2 | 0,7 | 0                      | -   | -   |
| 2006 | 12                  | 20,3 | 12,8 | 12                | 82,5 | 17,5 | 6                   | 3,8 | 2,3 | 9                   | 5,3 | 3,6 | 2                    | 2,0 | 0,0 | 0                      | -   | -   | 9                     | 1,8 | 1,1 | 3                      | 1,3 | 0,6 |
| 2007 | 12                  | 29,7 | 18,3 | 12                | 80,3 | 25,2 | 10                  | 9,6 | 5,3 | 4                   | 2,8 | 2,9 | 0                    | -   | -   | 5                      | 2,6 | 1,8 | 12                    | 2,8 | 1,4 | 2                      | 2,0 | 1,4 |
| 2008 | 12                  | 39,4 | 17,1 | 12                | 76,3 | 32,2 | 11                  | 3,2 | 2,8 | 3                   | 2,0 | 0,0 | 1                    | 2,0 | -   | 2                      | 1,5 | 0,7 | 11                    | 3,0 | 1,4 | 4                      | 1,3 | 0,5 |

M = Média

DP = desvio padrão

N= número de registros mensais

### 4.1.3 Indivíduo C

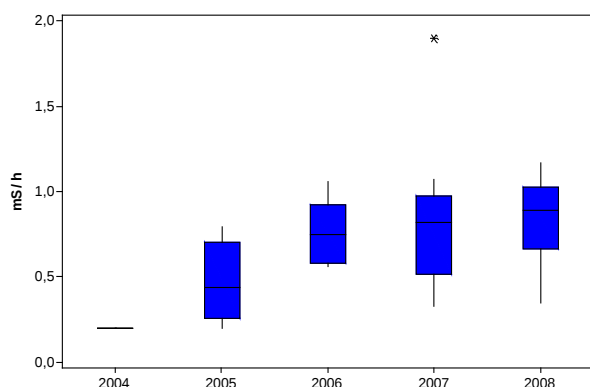
O IOE C iniciou suas atividades em outubro de 2004, sendo que, neste ano, somente os meses de outubro e novembro registraram exposição no dosímetro de tórax. O IOE C só iniciou suas atividades no laboratório de manipulação de radioisótopos em outubro de 2005, motivo pelo qual nos meses anteriores a este não há registro de dose de exposição no punho, uma vez que este dosímetro ainda não era utilizado por este indivíduo.

A menor dose média registrada no dosímetro de tórax pelo IOE C foi em 2004 (0,20 mSv), embora neste ano apenas 2 registros tenham ocorrido. Observa-se um aumento progressivo na dose média de exposição no tórax, sendo a maior média registrada no ano de 2008 (0,84 mSv). Em contrapartida, a dose média de exposição no punho diminuiu, gradativamente, ao longo dos anos trabalhados.

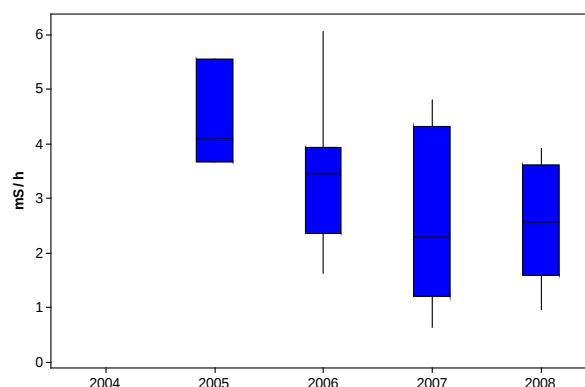
**Tabela 33** – Estatísticas descritivas da **dose de exposição mensal no tórax e no punho**, por ano de estudo, para o **indivíduo C**.

| Ano  | Tórax |       |               | n  | Punho |               |
|------|-------|-------|---------------|----|-------|---------------|
|      | N     | Média | Desvio Padrão |    | Média | Desvio Padrão |
| 2004 | 2     | 0,20  | 0,00          | 0  | *     | *             |
| 2005 | 11    | 0,46  | 0,21          | 3  | 4,4   | 1,0           |
| 2006 | 12    | 0,77  | 0,18          | 12 | 3,4   | 1,2           |
| 2007 | 12    | 0,81  | 0,41          | 12 | 2,6   | 1,5           |
| 2008 | 12    | 0,84  | 0,23          | 11 | 2,5   | 1,0           |

N= número de registros mensais de dose de exposição



**Figura 29** – boxplot da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo C



**Figura 30** – boxplot da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo C

**Tabela 34** – Estatísticas descritivas da **atividade manipulada para cada isótopo radioativo**, por ano de estudo, para o **indivíduo C**.

| Ano  | 18F-FDG |       |       | 99mTc |        |       | 131IODO |      |      | 67GALIO |      |     | 111INDIO |      |     | 177LUTECIO |      |     | 131I-MIBG |     |     | 153Samário |       |    |
|------|---------|-------|-------|-------|--------|-------|---------|------|------|---------|------|-----|----------|------|-----|------------|------|-----|-----------|-----|-----|------------|-------|----|
|      | N       | M     | DP    | n     | M      | DP    | n       | M    | DP   | n       | M    | DP  | n        | M    | DP  | N          | M    | DP  | n         | M   | DP  | n          | M     | DP |
| 2004 | 0       | -     | -     | 0     | -      | -     | 0       | -    | -    | 0       | -    | -   | 0        | -    | -   | 0          | -    | -   | 0         | -   | -   | 0          | -     | -  |
| 2005 | 2       | 207,0 | 144,0 | 2     | 1140,0 | 208,0 | 0       | -    | -    | 2       | 3,3  | 0,3 | 0        | -    | -   | 0          | -    | -   | 0         | -   | -   | 0          | -     | -  |
| 2006 | 11      | 271,8 | 70,4  | 12    | 1047,9 | 182,3 | 7       | 11,0 | 4,8  | 6       | 4,7  | 2,4 | 3        | 6,6  | 2,3 | 0          | -    | -   | 3         | 1,4 | 0,5 | 1          | 259,3 | -  |
| 2007 | 11      | 253,2 | 87,0  | 12    | 1027,0 | 369,0 | 4       | 31,8 | 35,1 | 4       | 11,2 | 3,0 | 3        | 10,9 | 6,4 | 2          | 373  | 287 | 0         | -   | -   | 1          | 332,4 | -  |
| 2008 | 12      | 273,4 | 75,9  | 12    | 1201,8 | 264,0 | 8       | 36,3 | 26,1 | 1       | 2,9  | -   | 4        | 8,0  | 3,5 | 1          | 21,6 | -   | 2         | 1,0 | 0,1 | 1          | 109,9 | -  |

M = Média

DP = desvio padrão

N= número de registros mensais

**Tabela 35** – Estatísticas descritivas do **número de pacientes atendidos para cada isótopo radioativo**, por ano de estudo, para o **indivíduo C**.

| Ano  | 18F-FDG |      |     | 99mTc |      |      | 131IODO |     |     | 67GALIO |     |     | 111INDIO |     |     | 177LUTECIO |   |     | 131I-MIBG |     |     | 153Samário |     |    |
|------|---------|------|-----|-------|------|------|---------|-----|-----|---------|-----|-----|----------|-----|-----|------------|---|-----|-----------|-----|-----|------------|-----|----|
|      | N       | M    | DP  | N     | M    | DP   | n       | M   | DP  | n       | M   | DP  | n        | M   | DP  | n          | M | DP  | n         | M   | DP  | n          | M   | DP |
| 2004 | 0       | -    | -   | 0     | -    | -    | 0       | -   | -   | 0       | -   | -   | 0        | -   | -   | 0          | - | -   | 0         | -   | -   | 0          | -   | -  |
| 2005 | 2       | 7,5  | 6,4 | 2     | 38,5 | 5,0  | 0       | -   | -   | 2       | 1,0 | 0,0 | 0        | -   | -   | 0          | - | -   | 0         | -   | -   | 0          | -   | -  |
| 2006 | 11      | 22,6 | 8,0 | 12    | 39,9 | 8,6  | 7       | 2,9 | 1,3 | 6       | 1,5 | 0,5 | 3        | 2,0 | 1,0 | 0          | - | -   | 3         | 1,3 | 0,6 | 1          | 2,0 | -  |
| 2007 | 11      | 21,8 | 7,6 | 12    | 40,7 | 13,7 | 4       | 6,3 | 5,9 | 4       | 3,5 | 1,3 | 3        | 2,0 | 1,0 | 2          | 2 | 1,4 | 0         | -   | -   | 1          | 2,0 | -  |
| 2008 | 12      | 23,4 | 7,3 | 12    | 46,5 | 10,9 | 8       | 7,0 | 3,9 | 1       | 1,0 | -   | 4        | 1,5 | 0,6 | 1          | 4 | -   | 2         | 1,0 | 0,0 | 1          | 1,0 | -  |

M = Média

DP = desvio padrão

N= número de registros mensais

#### 4.1.4 Indivíduo D

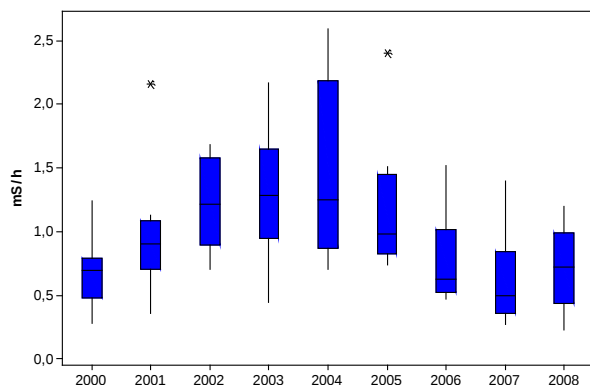
O IOE D desempenhou suas atividades entre janeiro de 2000 e dezembro de 2008. A menor dose de exposição registrada no dosímetro de tórax foi em novembro de 2000: 0,20 mSv.

A dose de exposição mensal registrada no dosímetro do tórax apresenta variação ao longo do tempo, como pode ser visto na figura 31. Observa-se um acréscimo constante até 2004, e a partir de 2005, estes valores começam a diminuir. Um comportamento similar é observado para a dose de exposição mensal registrada no dosímetro de punho (figura 32): entre 2000 e 2003 apresenta média mais alta em relação aos demais anos, e a partir de 2004, começa a diminuir gradativamente. Em 2008, um novo aumento é registrado na média das doses de exposição tanto no dosímetro de tórax quanto no de pulso, mas ainda inferior às maiores médias anteriormente registradas.

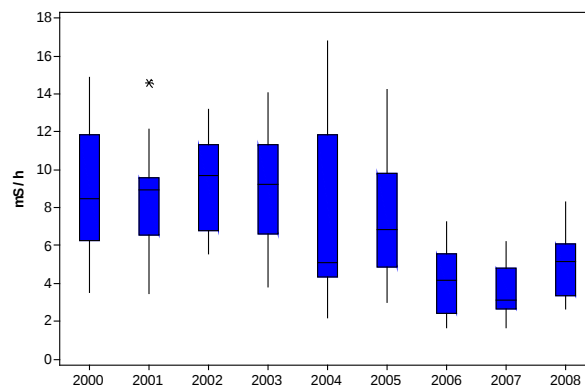
**Tabela 36** – Estatísticas descritivas da **dose de exposição mensal no tórax e no punho**, por ano de estudo, para o **indivíduo D**.

| Ano  | Tórax |       |               | n  | Punho |               |
|------|-------|-------|---------------|----|-------|---------------|
|      | N     | Média | Desvio Padrão |    | Média | Desvio Padrão |
| 2000 | 11    | 0,66  | 0,25          | 12 | 8,86  | 3,41          |
| 2001 | 12    | 0,94  | 0,45          | 12 | 8,72  | 2,97          |
| 2002 | 12    | 1,24  | 0,35          | 12 | 9,40  | 2,49          |
| 2003 | 12    | 1,30  | 0,51          | 12 | 9,05  | 2,89          |
| 2004 | 12    | 1,46  | 0,67          | 12 | 7,59  | 4,85          |
| 2005 | 12    | 1,16  | 0,48          | 12 | 7,28  | 3,18          |
| 2006 | 12    | 0,77  | 0,33          | 12 | 4,17  | 1,77          |
| 2007 | 12    | 0,64  | 0,39          | 12 | 3,63  | 1,37          |
| 2008 | 12    | 0,72  | 0,32          | 12 | 5,00  | 1,67          |

N= número de registros mensais de dose de exposição



**Figura 31** – boxplot da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para o indivíduo D



**Figura 32** – boxplot da dose mensal no punho, por ano de estudo, para o indivíduo D

**Tabela 37** – Estatísticas descritivas da atividade manipulada para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo D.

| Ano  | <sup>18</sup> F-FDG |       |       | <sup>99m</sup> Tc |      |      | <sup>131</sup> IO DO |      |      | <sup>67</sup> GALIO |      |      | <sup>111</sup> INDIO |     |     | <sup>177</sup> LUTECIO |       |    | <sup>131</sup> I-MIBG |     |     | <sup>153</sup> Samário |       |       |
|------|---------------------|-------|-------|-------------------|------|------|----------------------|------|------|---------------------|------|------|----------------------|-----|-----|------------------------|-------|----|-----------------------|-----|-----|------------------------|-------|-------|
|      | N                   | M     | DP    | n                 | M    | DP   | n                    | M    | DP   | n                   | M    | DP   | n                    | M   | DP  | n                      | M     | DP | n                     | M   | DP  | n                      | M     | DP    |
| 2000 | 0                   | -     | -     | 12                | 4009 | 1337 | 12                   | 22,6 | 18,9 | 12                  | 23,2 | 10,4 | 0                    | -   | -   | 0                      | -     | -  | 7                     | 2,9 | 1,2 | 6                      | 259,2 | 148,3 |
| 2001 | 5                   | 73,9  | 38,7  | 12                | 3004 | 903  | 12                   | 30,1 | 21,6 | 12                  | 33,0 | 13,1 | 3                    | 4,0 | 0,7 | 0                      | -     | -  | 8                     | 2,9 | 1,9 | 6                      | 246,7 | 181,5 |
| 2002 | 12                  | 220,9 | 85,3  | 12                | 2624 | 756  | 12                   | 26,8 | 19,9 | 12                  | 20,7 | 12,2 | 4                    | 7,4 | 5,3 | 0                      | -     | -  | 8                     | 2,7 | 1,6 | 7                      | 119,6 | 34,8  |
| 2003 | 12                  | 343,4 | 241,4 | 12                | 3083 | 1255 | 11                   | 40,5 | 23,5 | 11                  | 24,2 | 14,1 | 2                    | 3,6 | 0,2 | 0                      | -     | -  | 8                     | 2,3 | 1,3 | 3                      | 97,7  | 5,9   |
| 2004 | 12                  | 398,2 | 160,2 | 12                | 2302 | 958  | 12                   | 31,0 | 14,4 | 11                  | 21,1 | 12,5 | 1                    | 7,4 | -   | 0                      | -     | -  | 7                     | 2,1 | 1,1 | 3                      | 157,4 | 67,5  |
| 2005 | 11                  | 608,8 | 134,7 | 11                | 2997 | 915  | 11                   | 49,2 | 21,3 | 11                  | 28,9 | 18,6 | 2                    | 5,1 | 0,1 | 0                      | -     | -  | 8                     | 3,0 | 1,6 | 2                      | 150,0 | 155,0 |
| 2006 | 12                  | 290,3 | 191,3 | 12                | 2119 | 456  | 10                   | 34,1 | 29,6 | 10                  | 16,2 | 12,0 | 3                    | 5,2 | 1,5 | 0                      | -     | -  | 3                     | 2,2 | 1,1 | 1                      | 130,1 | -     |
| 2007 | 12                  | 207,9 | 164,5 | 12                | 1932 | 850  | 8                    | 37,5 | 28,6 | 12                  | 19,4 | 12,6 | 4                    | 9,3 | 4,6 | 1                      | 457,8 | -  | 6                     | 1,8 | 0,9 | 0                      | -     | -     |
| 2008 | 12                  | 275,8 | 158,1 | 12                | 2560 | 832  | 12                   | 45,8 | 30,4 | 12                  | 35,9 | 20,6 | 0                    | -   | -   | 1                      | 7,5   | -  | 4                     | 1,1 | 0,1 | 2                      | 215,0 | 143,0 |

M = Média

DP = desvio padrão

N= número de registros mensais

**Tabela 38** – Estatísticas descritivas do número de pacientes atendidos para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo D.

| Ano  | <sup>18</sup> F-FDG |      |      | <sup>99m</sup> Tc |     |    | <sup>131</sup> IO DO |     |     | <sup>67</sup> GALIO |      |     | <sup>111</sup> INDIO |     |     | <sup>177</sup> LUTECIO |     |    | <sup>131</sup> I-MIBG |     |     | <sup>153</sup> Samário |     |     |
|------|---------------------|------|------|-------------------|-----|----|----------------------|-----|-----|---------------------|------|-----|----------------------|-----|-----|------------------------|-----|----|-----------------------|-----|-----|------------------------|-----|-----|
|      | N                   | M    | DP   | N                 | M   | DP | n                    | M   | DP  | n                   | M    | DP  | n                    | M   | DP  | n                      | M   | DP | n                     | M   | DP  | n                      | M   | DP  |
| 2000 | 0                   | -    | -    | 12                | 146 | 50 | 12                   | 3,5 | 2,4 | 12                  | 8,4  | 3,9 | 0                    | -   | -   | 0                      | -   | -  | 7                     | 2,3 | 1,1 | 6                      | 2,0 | 0,9 |
| 2001 | 5                   | 6,8  | 2,6  | 12                | 111 | 34 | 12                   | 4,6 | 2,8 | 12                  | 11,5 | 4,2 | 3                    | 1,0 | 0,0 | 0                      | -   | -  | 8                     | 2,5 | 1,8 | 6                      | 1,8 | 1,0 |
| 2002 | 12                  | 13,0 | 5,2  | 12                | 100 | 27 | 12                   | 4,9 | 3,1 | 12                  | 7,1  | 4,3 | 4                    | 1,8 | 1,0 | 0                      | -   | -  | 8                     | 2,3 | 1,3 | 7                      | 1,1 | 0,4 |
| 2003 | 12                  | 18,8 | 10,7 | 12                | 114 | 50 | 11                   | 7,4 | 3,7 | 11                  | 8,5  | 5,0 | 2                    | 1,0 | 0,0 | 0                      | -   | -  | 8                     | 1,9 | 1,1 | 3                      | 1,0 | 0,0 |
| 2004 | 12                  | 18,0 | 6,3  | 12                | 87  | 31 | 12                   | 5,3 | 1,7 | 11                  | 7,4  | 4,5 | 1                    | 1,0 | -   | 0                      | -   | -  | 7                     | 1,9 | 1,1 | 3                      | 1,3 | 0,6 |
| 2005 | 11                  | 26,1 | 6,6  | 11                | 114 | 35 | 11                   | 8,9 | 5,1 | 11                  | 10,1 | 6,5 | 2                    | 1,0 | 0,0 | 0                      | -   | -  | 8                     | 2,6 | 1,4 | 2                      | 1,5 | 0,7 |
| 2006 | 12                  | 21,2 | 9,7  | 12                | 81  | 20 | 10                   | 6,6 | 4,1 | 10                  | 5,6  | 4,1 | 3                    | 1,0 | 0,0 | 0                      | -   | -  | 3                     | 2,0 | 1,0 | 1                      | 1,0 | -   |
| 2007 | 12                  | 17,4 | 14,7 | 12                | 72  | 31 | 8                    | 7,0 | 5,6 | 12                  | 6,7  | 4,5 | 4                    | 1,8 | 1,0 | 1                      | 4,0 | -  | 6                     | 1,5 | 0,8 | 0                      | -   | -   |
| 2008 | 12                  | 22,4 | 12,5 | 12                | 89  | 29 | 12                   | 9,2 | 5,7 | 12                  | 12,3 | 7,1 | 0                    | -   | -   | 1                      | 1,0 | -  | 4                     | 1,0 | 0,0 | 2                      | 2,0 | 1,4 |

M = Média

DP = desvio padrão

N= número de registros mensais

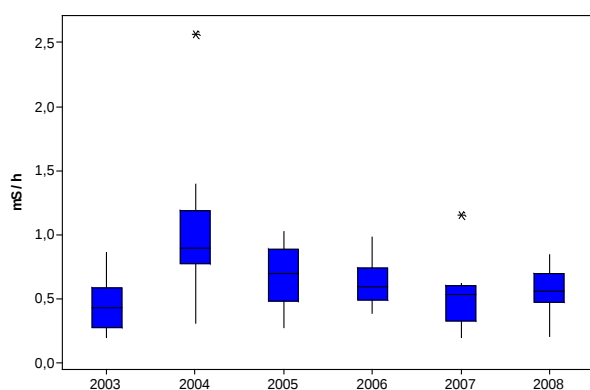
#### 4.1.5 Indivíduo E

O IOE E iniciou suas atividades em janeiro de 2003. Em 2004, observam-se dois outliers, sendo um no tórax (setembro de 2004, valor = 2,57 mSv) e um no punho (maio de 2004, valor = 19,14 mSv). Nos meses de setembro a dezembro de 2005 os dosímetros de tórax e pulso registraram doses abaixo do nível de registro (0,20 mSv). As maiores médias mensais de exposição registradas nos dosímetros de tórax e punho ocorreram no ano 2004: 1,03 mSv para o tórax e 6,12 mSv para o punho.

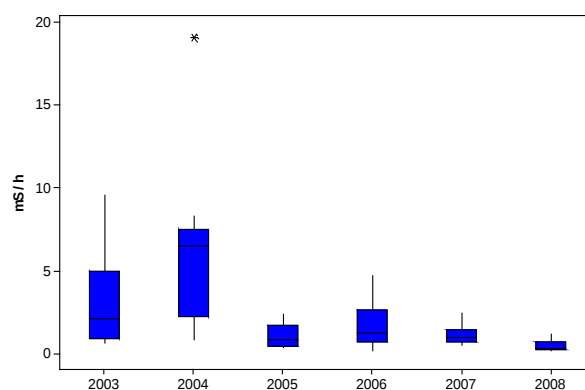
**Tabela 39** – Estatísticas descritivas da **dose de exposição mensal no tórax e no punho**, por ano de estudo, para o **indivíduo E**.

| Ano  | Torax |       |               | Punho |       |               |
|------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|
|      | N     | Média | Desvio Padrão | N     | Média | Desvio Padrão |
| 2003 | 12    | 0,46  | 0,20          | 8     | 3,22  | 3,05          |
| 2004 | 12    | 1,03  | 0,56          | 12    | 6,12  | 4,90          |
| 2005 | 8     | 0,68  | 0,25          | 8     | 1,09  | 0,74          |
| 2006 | 12    | 0,63  | 0,18          | 12    | 1,74  | 1,37          |
| 2007 | 12    | 0,53  | 0,24          | 9     | 1,18  | 0,59          |
| 2008 | 12    | 0,57  | 0,17          | 7     | 0,47  | 0,36          |

N= número de registros mensais de dose de exposição



**Figura 33** – boxplot da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para do indivíduo E



**Figura 34** – boxplot da dose mensal no punho, por ano de estudo, para do indivíduo E

**Tabela 40** – Estatísticas descritivas da **atividade manipulada para cada isótopo radioativo**, por ano de estudo, para o **indivíduo E**.

| Ano  | <sup>18</sup> F-FDG |       |       | <sup>99m</sup> Tc |        |       | <sup>131</sup> IODO |      |      | <sup>67</sup> GALIO |      |      | <sup>111</sup> INDIO |      |     | <sup>177</sup> LUTECIO |      |     | <sup>131</sup> I-MIBG |     |     | <sup>153</sup> Samário |       |    |
|------|---------------------|-------|-------|-------------------|--------|-------|---------------------|------|------|---------------------|------|------|----------------------|------|-----|------------------------|------|-----|-----------------------|-----|-----|------------------------|-------|----|
|      | N                   | M     | DP    | n                 | M      | DP    | n                   | M    | DP   | n                   | M    | DP   | n                    | M    | DP  | n                      | M    | DP  | n                     | M   | DP  | n                      | M     | DP |
| 2003 | 6                   | 153,1 | 208,9 | 8                 | 703,0  | 778,0 | 5                   | 25,5 | 26,0 | 4                   | 5,9  | 2,4  | 0                    | -    | -   | 0                      | -    | -   | 1                     | 1,3 | -   | 0                      | -     | -  |
| 2004 | 12                  | 267,3 | 103,4 | 12                | 1340,0 | 782,0 | 7                   | 25,1 | 10,4 | 11                  | 17,4 | 12,6 | 1                    | 4,0  | -   | 0                      | -    | -   | 5                     | 1,9 | 1,3 | 1                      | 115,0 | -  |
| 2005 | 9                   | 281,4 | 162,9 | 9                 | 1364   | 781   | 4                   | 55,2 | 21,8 | 7                   | 13   | 3,8  | 2                    | 6,83 | 3,4 | 0                      | -    | -   | 1                     | 6,7 | -   | 0                      | -     | -  |
| 2006 | 12                  | 215,7 | 82,4  | 12                | 1653,0 | 420,0 | 8                   | 18,0 | 6,7  | 12                  | 27,6 | 8,8  | 5                    | 6,6  | 3,7 | 1                      | 55,4 | -   | 4                     | 1,8 | 0,8 | 1                      | 120,8 | -  |
| 2007 | 11                  | 268,1 | 102,3 | 12                | 1160,0 | 409,0 | 7                   | 35,0 | 30,4 | 12                  | 18,9 | 13,2 | 2                    | 5,5  | 0,2 | 1                      | 5    | -   | 3                     | 2,6 | 1,6 | 1                      | 150,0 | -  |
| 2008 | 12                  | 345,8 | 193,5 | 12                | 1456,0 | 624,0 | 10                  | 30,8 | 27,6 | 11                  | 23,5 | 11,6 | 6                    | 13,8 | 8,0 | 2                      | 8,45 | 2,1 | 0                     | -   | -   | 0                      | -     | -  |

M = Média

DP = desvio padrão

N= número de registros mensais

**Tabela 41** – Estatísticas descritivas do **número de pacientes atendidos para cada isótopo radioativo**, por ano de estudo, para o **indivíduo E**.

| Ano  | <sup>18</sup> F-FDG |       |      | <sup>99m</sup> Tc |      |      | <sup>131</sup> IODO |     |      | <sup>67</sup> GALIO |      |      | <sup>111</sup> INDIO |     |     | <sup>177</sup> LUTECIO |   |    | <sup>131</sup> I-MIBG |     |     | <sup>153</sup> Samário |     |    |
|------|---------------------|-------|------|-------------------|------|------|---------------------|-----|------|---------------------|------|------|----------------------|-----|-----|------------------------|---|----|-----------------------|-----|-----|------------------------|-----|----|
|      | N                   | M     | DP   | N                 | M    | DP   | n                   | M   | DP   | n                   | M    | DP   | n                    | M   | DP  | n                      | M | DP | n                     | M   | DP  | n                      | M   | DP |
| 2003 | 6                   | 7,2   | 8,8  | 8                 | 25,4 | 29,6 | 5                   | 5,8 | 4,9  | 4                   | 2,0  | 0,8  | 0                    | -   | -   | 0                      | - | -  | 1                     | 1,0 | -   | 0                      | -   | -  |
| 2004 | 12                  | 12,0  | 4,5  | 12                | 51,9 | 29,3 | 7                   | 4,6 | 2,4  | 11                  | 6,0  | 4,4  | 1                    | 1,0 | -   | 0                      | - | -  | 5                     | 1,8 | 1,3 | 1                      | 1,0 | -  |
| 2005 | 9                   | 11,56 | 6,97 | 9                 | 54,1 | 32,8 | 4                   | 7,5 | 4,51 | 7                   | 4,43 | 1,27 | 2                    | 1   | 0   | 0                      | - | -  | 1                     | 5   | -   | 0                      | -   | -  |
| 2006 | 12                  | 18,5  | 9,23 | 12                | 64,2 | 17,2 | 8                   | 3,8 | 1,4  | 12                  | 9,7  | 3,1  | 5                    | 1,6 | 0,9 | 1                      | 2 | -  | 4                     | 1,5 | 0,6 | 1                      | 1,0 | -  |
| 2007 | 11                  | 22,6  | 8,5  | 12                | 52,0 | 16,8 | 7                   | 4,7 | 2,5  | 12                  | 6,6  | 4,6  | 2                    | 1,0 | 0,0 | 1                      | 1 | -  | 3                     | 2,3 | 1,5 | 1                      | 1,0 | -  |
| 2008 | 12                  | 29,2  | 16,0 | 12                | 65,4 | 24,4 | 10                  | 5,5 | 5,5  | 11                  | 8,3  | 4,1  | 6                    | 2,7 | 1,5 | 2                      | 1 | 0  | 0                     | -   | -   | 0                      | -   | -  |

M = Média

DP = desvio padrão

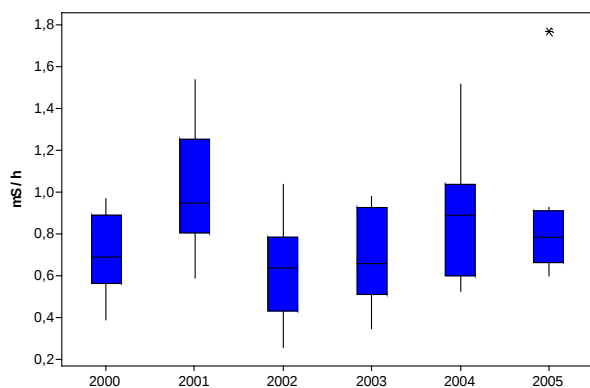
N= número de registros mensais de dose de exposição

#### 4.1.6 Indivíduo F

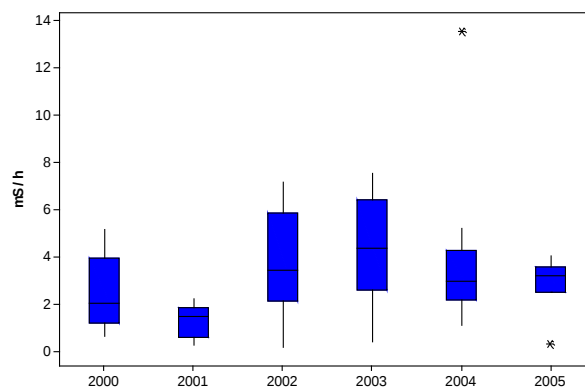
O IOE F desempenhou suas atividades entre janeiro de 2000 e setembro de 2005. A maior dose média mensal de exposição no tórax foi registrada em 2001 (1,01 mSv).

**Tabela 42** – Estatísticas descritivas da **dose de exposição mensal no tórax e no punho**, por ano de estudo, para o **indivíduo F**.

| Ano  | Tórax |       |               | Punho |       |               |
|------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|
|      | N     | Média | Desvio Padrão | n     | Média | Desvio Padrão |
| 2000 | 12    | 0,70  | 0,19          | 11    | 2,43  | 1,46          |
| 2001 | 12    | 1,01  | 0,28          | 12    | 1,32  | 0,70          |
| 2002 | 12    | 0,62  | 0,23          | 12    | 3,83  | 2,18          |
| 2003 | 11    | 0,69  | 0,22          | 12    | 4,50  | 2,25          |
| 2004 | 12    | 0,88  | 0,30          | 12    | 3,93  | 3,26          |
| 2005 | 8     | 0,88  | 0,37          | 9     | 2,86  | 1,08          |



**Figura 35** – boxplot da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para do indivíduo F



**Figura 36** – boxplot da dose mensal no punho, por ano de estudo, para do indivíduo F

**Tabela 43** – Estatísticas descritivas da **atividade manipulada para cada isótopo radioativo**, por ano de estudo, para o **indivíduo F**.

| Ano  | <sup>18</sup> F-FDG |       |       | <sup>99m</sup> Tc |        |       | <sup>131</sup> IO DO |      |      | <sup>67</sup> GALIO |      |      | <sup>111</sup> INDIO |     |     | <sup>177</sup> LUTECIO |   |    | <sup>131</sup> I-MIBG |     |     | <sup>153</sup> Samário |       |      |
|------|---------------------|-------|-------|-------------------|--------|-------|----------------------|------|------|---------------------|------|------|----------------------|-----|-----|------------------------|---|----|-----------------------|-----|-----|------------------------|-------|------|
|      | N                   | M     | DP    | N                 | M      | DP    | n                    | M    | DP   | n                   | M    | DP   | n                    | M   | DP  | n                      | M | DP | n                     | M   | DP  | n                      | M     | DP   |
| 2000 | 0                   | -     | -     | 12                | 2368,0 | 968,0 | 2                    | 9,2  | 8,3  | 6                   | 3,6  | 1,6  | 0                    | -   | -   | 0                      | - | -  | 4                     | 1,4 | 0,8 | 1                      | 100,0 | -    |
| 2001 | 0                   | -     | -     | 12                | 2008,0 | 445,0 | 3                    | 8,3  | 7,8  | 10                  | 7,3  | 6,7  | 0                    | -   | -   | 0                      | - | -  | 1                     | 1,3 | -   | 1                      | 296,4 | -    |
| 2002 | 10                  | 163,0 | 98,6  | 12                | 1874,0 | 617,0 | 6                    | 13,4 | 9,7  | 12                  | 14,0 | 11,9 | 1                    | 4,2 | -   | 0                      | - | -  | 6                     | 1,4 | 0,4 | 3                      | 181,0 | 81,2 |
| 2003 | 11                  | 140,3 | 120,9 | 12                | 1961,0 | 834,0 | 7                    | 27,6 | 16,3 | 7                   | 24,6 | 17,1 | 3                    | 4,6 | 2,2 | 0                      | - | -  | 6                     | 2,2 | 0,7 | 3                      | 105,0 | 34,9 |
| 2004 | 11                  | 236,6 | 91,6  | 12                | 1811,0 | 485,0 | 8                    | 43,2 | 35,2 | 10                  | 20,6 | 15,1 | 1                    | 4,1 | -   | 0                      | - | -  | 4                     | 2,0 | 1,2 | 1                      | 136,0 | -    |
| 2005 | 9                   | 281,1 | 174,9 | 9                 | 2328,0 | 977,0 | 6                    | 31,2 | 20,4 | 8                   | 30,2 | 20,0 | 1                    | 4,8 | -   | 0                      | - | -  | 4                     | 1,7 | 0,6 | 0                      | -     | -    |

M = Média

DP = desvio padrão

N= número de registros mensais

**Tabela 44** – Estatísticas descritivas do **número de pacientes atendidos para cada isótopo radioativo**, por ano de estudo, para o **indivíduo F**.

| Ano  | <sup>18</sup> F-FDG |      |     | <sup>99m</sup> Tc |      |      | <sup>131</sup> IO DO |     |     | <sup>67</sup> GALIO |      |     | <sup>111</sup> INDIO |     |     | <sup>177</sup> LUTECIO |   |    | <sup>131</sup> I-MIBG |     |     | <sup>153</sup> Samário |     |     |
|------|---------------------|------|-----|-------------------|------|------|----------------------|-----|-----|---------------------|------|-----|----------------------|-----|-----|------------------------|---|----|-----------------------|-----|-----|------------------------|-----|-----|
|      | N                   | M    | DP  | n                 | M    | DP   | n                    | M   | DP  | n                   | M    | DP  | n                    | M   | DP  | n                      | M | DP | n                     | M   | DP  | n                      | M   | DP  |
| 2000 | 0                   | -    | -   | 12                | 76,4 | 31,6 | 2                    | 1,0 | 0,0 | 6                   | 1,3  | 0,5 | 0                    | -   | -   | 0                      | - | -  | 4                     | 1,3 | 0,5 | 1                      | 1,0 | -   |
| 2001 | 0                   | -    | -   | 12                | 65,2 | 13,8 | 3                    | 2,0 | 1,7 | 10                  | 2,8  | 2,7 | 0                    | -   | -   | 0                      | - | -  | 1                     | 1,0 | -   | 1                      | 3,0 | -   |
| 2002 | 10                  | 7,8  | 4,2 | 12                | 69,3 | 25,4 | 6                    | 3,7 | 2,7 | 12                  | 4,9  | 4,1 | 1                    | 1,0 | -   | 0                      | - | -  | 6                     | 1,2 | 0,4 | 3                      | 1,7 | 0,6 |
| 2003 | 11                  | 8,0  | 5,4 | 12                | 74,1 | 34,8 | 7                    | 4,4 | 3,3 | 7                   | 8,4  | 5,9 | 3                    | 1,3 | 0,6 | 0                      | - | -  | 6                     | 2,0 | 0,6 | 3                      | 1,0 | 0,0 |
| 2004 | 11                  | 10,4 | 4,0 | 12                | 68,3 | 20,0 | 8                    | 7,0 | 4,3 | 10                  | 6,9  | 5,1 | 1                    | 1,0 | -   | 0                      | - | -  | 4                     | 1,8 | 1,0 | 1                      | 1,0 | -   |
| 2005 | 9                   | 12,0 | 6,5 | 9                 | 89,0 | 35,9 | 6                    | 5,0 | 3,0 | 8                   | 10,6 | 7,1 | 1                    | 1,0 | -   | 0                      | - | -  | 4                     | 1,5 | 0,6 | 0                      | -   | -   |

M = Média

DP = desvio padrão

N= número de registros mensais

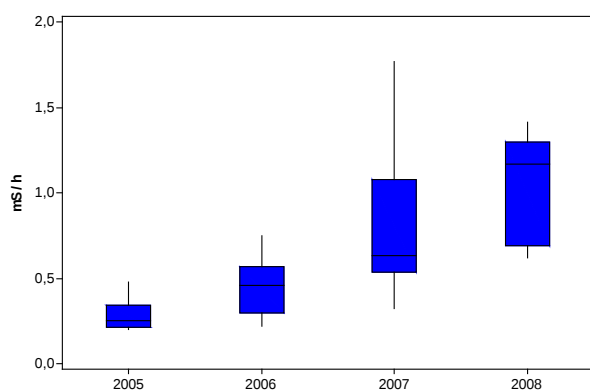
#### 4.1.7 Indivíduo G

O IOE G iniciou suas atividades em julho de 2005. Suas atividades no laboratório de manipulação de radioisótopos iniciaram-se somente em setembro de 2006, motivo pelo qual nos meses anteriores não há registro de manipulação e também de dose de exposição no punho, uma vez que este dosímetro ainda não era utilizado por este indivíduo.

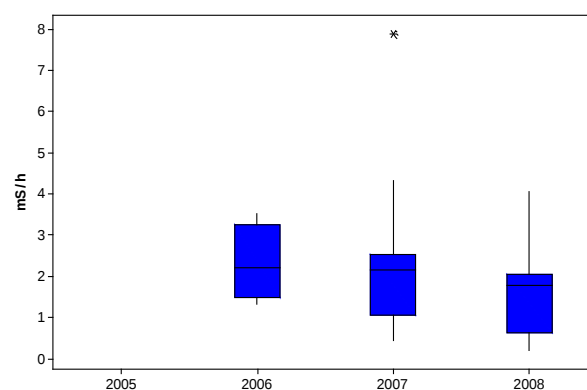
As doses médias mensais de exposição registradas no tórax demonstram um aumento gradativo da exposição ao longo dos anos trabalhados.

**Tabela 45** – Estatísticas descritivas da **dose de exposição mensal no tórax e no punho**, por ano de estudo, para o **indivíduo G**.

| Ano  | Tórax |       |               | Punho |       |               |
|------|-------|-------|---------------|-------|-------|---------------|
|      | N     | Média | Desvio Padrão | n     | Média | Desvio Padrão |
| 2005 | 6     | 0,28  | 0,10          | 0     | *     | *             |
| 2006 | 11    | 0,46  | 0,17          | 4     | 2,32  | 0,92          |
| 2007 | 12    | 0,79  | 0,42          | 12    | 2,43  | 1,99          |
| 2008 | 12    | 1,03  | 0,31          | 11    | 1,64  | 1,07          |



**Figura 37** – boxplot da dose mensal no tórax, por ano de estudo, para do indivíduo G



**Figura 38** – boxplot da dose mensal no punho, por ano de estudo, para do indivíduo G

**Tabela 46 – Estatísticas descritivas da atividade manipulada para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo G.**

| Ano  | <sup>18</sup> F-FDG |       |       | <sup>99m</sup> Tc |        |       | <sup>131</sup> IO DO |      |      | <sup>67</sup> GALIO |      |      | <sup>111</sup> INDIO |     |     | <sup>177</sup> LUTECIO |      |     | <sup>131</sup> I-MIBG |     |     | <sup>153</sup> Samário |       |     |
|------|---------------------|-------|-------|-------------------|--------|-------|----------------------|------|------|---------------------|------|------|----------------------|-----|-----|------------------------|------|-----|-----------------------|-----|-----|------------------------|-------|-----|
|      | N                   | M     | DP    | n                 | M      | DP    | n                    | M    | DP   | n                   | M    | DP   | n                    | M   | DP  | n                      | M    | DP  | n                     | M   | DP  | n                      | M     | DP  |
| 2006 | 4                   | 136,3 | 76,2  | 4                 | 630,3  | 153,5 | 0                    | -    | -    | 0                   | -    | -    | 0                    | -   | -   | 0                      | -    | -   | 0                     | -   | -   | 2                      | 101,4 | 1,9 |
| 2007 | 11                  | 237,8 | 139,3 | 12                | 1094,0 | 375,0 | 5                    | 15,1 | 10,9 | 5                   | 17,3 | 13,3 | 3                    | 4,7 | 0,5 | 1                      | 20,8 | -   | 0                     | -   | -   | 2                      | 126,3 | 1,0 |
| 2008 | 12                  | 301,6 | 141,3 | 12                | 1427,9 | 307,3 | 10                   | 36,2 | 26,5 | 1                   | 5,5  | -    | 5                    | 9,6 | 5,0 | 2                      | 7,9  | 0,2 | 4                     | 1,1 | 0,1 | 0                      | -     | -   |

M = Média

DP = desvio padrão

N= número de registros mensais

**Tabela 47 – Estatísticas descritivas do número de pacientes atendidos para cada isótopo radioativo, por ano de estudo, para o indivíduo G.**

| Ano  | <sup>18</sup> F-FDG |      |     | <sup>99m</sup> Tc |      |     | <sup>131</sup> IO DO |      |     | <sup>67</sup> GALIO |      |     | <sup>111</sup> INDIO |      |     | <sup>177</sup> LUTECIO |      |     | <sup>131</sup> I-MIBG |      |     | <sup>153</sup> Samário |      |     |
|------|---------------------|------|-----|-------------------|------|-----|----------------------|------|-----|---------------------|------|-----|----------------------|------|-----|------------------------|------|-----|-----------------------|------|-----|------------------------|------|-----|
|      | n                   | M    | DP  | n                 | M    | DP  | n                    | M    | DP  | n                   | M    | DP  | n                    | M    | DP  | n                      | M    | DP  | n                     | M    | DP  | n                      | M    | DP  |
| 2006 | 4                   | 12,5 | 6,0 | 4                 | 21,5 | 5,3 | 4                    | 12,5 | 6,0 | 4                   | 21,5 | 5,3 | 4                    | 12,5 | 6,0 | 4                      | 21,5 | 5,3 | 4                     | 12,5 | 6,0 | 4                      | 21,5 | 5,3 |
| 2007 | 1                   | 20,  | 11, | 1                 | 41,  | 11, | 1                    | 20,  | 11, | 1                   | 41,  | 11, | 1                    | 20,  | 11, | 1                      | 41,  | 11, | 1                     | 20,  | 11, | 1                      | 41,  | 11, |
|      | 1                   | 6    | 8   | 2                 | 6    | 7   | 1                    | 6    | 8   | 2                   | 6    | 7   | 1                    | 6    | 8   | 2                      | 6    | 7   | 1                     | 6    | 8   | 2                      | 6    | 7   |
| 2008 | 1                   | 26,  | 11, | 1                 | 55,  | 14, | 1                    | 26,  | 11, | 1                   | 55,  | 14, | 1                    | 26,  | 11, | 1                      | 55,  | 14, | 1                     | 26,  | 11, | 1                      | 55,  | 14, |
|      | 2                   | 1    | 6   | 2                 | 5    | 9   | 2                    | 1    | 6   | 2                   | 5    | 9   | 2                    | 1    | 6   | 2                      | 5    | 9   | 2                     | 1    | 6   | 2                      | 5    | 9   |

M = Média

DP = desvio padrão

N= número de registros mensais

## 4.2 REGRESSÕES (AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS ISÓTOPOS NA DOSE DE EXPOSIÇÃO)

Para avaliar a contribuição de cada isótopo na dose de exposição foram utilizados modelos lineares generalizados com função de ligação (link), sendo a identidade e considerando-se que as variáveis respostas (dose de exposição no tórax e no punho) seguem distribuição Gama. As variáveis consideradas como isótopo são a razão da quantidade manipulada de cada isótopo radioativo pelo número de pacientes atendidos.

Primeiramente, foi avaliada a influência de cada isótopo isolado na dose de exposição recebida nas duas regiões estudadas (tórax e punho). Esses modelos tiveram como variável resposta a dose de exposição no punho ou no tórax e como variáveis explicativas os isótopos (um modelo para cada isótopo) e os indivíduos ocupacionalmente expostos.

As tabelas 48, 48(A), 49 e 49(A) apresentam a estimativa de cada coeficiente segundo as regressões (Estimativa do Coeficiente - EC), os erros-padrão (EP) dessas estimativas e os respectivos p-valores (P) da influência de cada isótopo, separadamente, na dose no tórax (tabela 48/48A) e no punho (tabela 49/49A). Na coluna variável, a linha nomeada Isótopo refere-se ao isótopo da coluna considerada.

Para que a influência de cada isótopo seja significativa, o p-valor deverá ser  $p \leq 0,05$ . Dessa forma, a tabela 48/48A revela que apenas o isótopo  $^{18}\text{F}$ -FDG apresenta influência significativa na dose de exposição do tórax dos IOEs.

**Tabela 48** – Estimativa do coeficiente (EC), erro-padrão da estimativa (EP) e p-valor (P) das regressões do tórax sobre os isótopos individuais e os IOEs.

| Variável  | <sup>18</sup> F-FDG |       |                  | <sup>99m</sup> Tc |       |                  | <sup>131</sup> IODO |       |                  | <sup>67</sup> GALIO |       |                  |
|-----------|---------------------|-------|------------------|-------------------|-------|------------------|---------------------|-------|------------------|---------------------|-------|------------------|
|           | EC                  | EP    | P                | EC                | EP    | P                | EC                  | EP    | P                | EC                  | EP    | P                |
| Constante | 0,738               | 0,067 | <b>&lt;0,001</b> | 1,077             | 0,091 | <b>&lt;0,001</b> | 1,005               | 0,054 | <b>&lt;0,001</b> | 0,816               | 0,145 | <b>&lt;0,001</b> |
| Isótopo   | 0,017               | 0,004 | <b>&lt;0,001</b> | 0,003             | 0,003 | 0,277            | 0,003               | 0,004 | 0,530            | 0,058               | 0,048 | 0,223            |
| A         | -0,212              | 0,063 | <b>0,001</b>     | -0,200            | 0,057 | <b>0,001</b>     | -0,191              | 0,064 | <b>0,003</b>     | -0,177              | 0,057 | <b>0,002</b>     |
| B         | -0,216              | 0,068 | <b>0,002</b>     | -0,172            | 0,057 | <b>0,002</b>     | -0,217              | 0,078 | <b>0,006</b>     | -0,194              | 0,060 | <b>0,001</b>     |
| C         | -0,141              | 0,078 | 0,070            | -0,191            | 0,073 | <b>0,009</b>     | -0,158              | 0,101 | 0,117            | -0,276              | 0,099 | <b>0,006</b>     |
| D         | -                   | -     | -                | -                 | -     | -                | -                   | -     | -                | -                   | -     | -                |
| E         | -0,355              | 0,060 | <b>&lt;0,001</b> | -0,334            | 0,058 | <b>&lt;0,001</b> | -0,293              | 0,069 | <b>&lt;0,001</b> | -0,298              | 0,059 | <b>&lt;0,001</b> |
| F         | -0,330              | 0,072 | <b>&lt;0,001</b> | -0,192            | 0,062 | <b>0,002</b>     | -0,183              | 0,081 | <b>0,025</b>     | -0,175              | 0,065 | <b>0,008</b>     |
| G         | -0,062              | 0,090 | 0,490            | -0,127            | 0,086 | 0,138            | -0,106              | 0,116 | 0,364            | -0,143              | 0,158 | 0,364            |

Valores de p em negrito são significativos em nível de 5%. O indivíduo D foi considerado como referência

**Tabela 48A** – Estimativa do coeficiente (EC), erro-padrão da estimativa (EP) e p-valor (P) das regressões do tórax sobre os isótopos individuais e os IOEs.

| Variável  | <sup>111</sup> INDIO |       |                  | <sup>177</sup> LUTÉCIO |       |              | <sup>131</sup> I-MIBG |       |                  | <sup>153</sup> Samário |       |                  |
|-----------|----------------------|-------|------------------|------------------------|-------|--------------|-----------------------|-------|------------------|------------------------|-------|------------------|
|           | EC                   | EP    | P                | EC                     | EP    | P            | EC                    | EP    | P                | EC                     | EP    | P                |
| Constante | 0,915                | 0,177 | <b>&lt;0,001</b> | 0,323                  | 0,165 | 0,069        | 1,306                 | 0,160 | <b>&lt;0,001</b> | 1,064                  | 0,206 | <b>&lt;0,001</b> |
| Isótopo   | -0,178               | 0,115 | 0,123            | 0,039                  | 0,031 | 0,222        | 0,002                 | 0,002 | 0,343            | 0,001                  | 0,002 | 0,756            |
| A         | -0,286               | 0,128 | <b>0,028</b>     | 0,774                  | 0,335 | <b>0,036</b> | -0,276                | 0,088 | <b>0,002</b>     | -0,229                 | 0,130 | 0,082            |
| B         | -0,415               | 0,143 | <b>0,005</b>     | 0,721                  | 0,244 | <b>0,010</b> | -0,320                | 0,084 | <b>&lt;0,001</b> | -0,184                 | 0,148 | 0,216            |
| C         | -0,328               | 0,140 | <b>0,022</b>     | 0,608                  | 0,247 | <b>0,026</b> | -0,316                | 0,186 | 0,091            | -0,190                 | 0,254 | 0,458            |
| D         | -                    | -     | -                | -                      | -     | -            | -                     | -     | -                | -                      | -     | -                |
| E         | -0,460               | 0,120 | <b>&lt;0,001</b> | 0,210                  | 0,203 | 0,317        | -0,230                | 0,128 | 0,074            | -0,506                 | 0,181 | <b>0,007</b>     |
| F         | -0,161               | 0,181 | 0,374            | -                      | -     | -            | -0,321                | 0,101 | <b>0,002</b>     | -0,338                 | 0,144 | <b>0,022</b>     |
| G         | 0,028                | 0,189 | 0,882            | 0,564                  | 0,288 | 0,069        | -0,227                | 0,218 | 0,301            | -0,423                 | 0,176 | <b>0,019</b>     |

Valores de p em negrito são significativos em nível de 5%. O indivíduo D foi considerado como referência

Ainda considerando o <sup>18</sup>F-FDG, verifica-se que os IOEs A, B, E e F apresentaram média da dose de exposição no tórax significativamente menor que o indivíduo D – p < 0,05 e estimativa do coeficiente negativa.

A tabela 49/49A revela que os isótopos <sup>18</sup>F-FDG, <sup>67</sup>Gálio e <sup>153</sup>Samário apresentaram influência significativa na dose de exposição do punho (p<0,05). Todos os IOEs que apresentam p<0,05 são significativamente diferentes do IOEs D, considerando-se o isótopo em questão.

**Tabela 49** – Estimativa do coeficiente (EC), erro-padrão da estimativa (EP) e p-valor (P) das regressões do punho sobre os isótopos individuais e os IOEs.

| Variável  | <sup>18</sup> F-FDG |       |                  | <sup>99m</sup> Tc |       |                  | <sup>131</sup> IO DO |       |                  | <sup>67</sup> GÁLIO |       |                  |
|-----------|---------------------|-------|------------------|-------------------|-------|------------------|----------------------|-------|------------------|---------------------|-------|------------------|
|           | EC                  | EP    | P                | EC                | EP    | P                | EC                   | EP    | P                | EC                  | EP    | P                |
| Constante | 5,023               | 0,620 | <b>&lt;0,001</b> | 7,329             | 0,530 | <b>&lt;0,001</b> | 7,430                | 0,545 | <b>&lt;0,001</b> | 5,955               | 0,709 | <b>&lt;0,001</b> |
| Isótopo   | 0,098               | 0,021 | <b>&lt;0,001</b> | -0,009            | 0,005 | 0,071            | -0,011               | 0,017 | 0,524            | 0,407               | 0,173 | <b>0,019</b>     |
| A         | -3,327              | 0,602 | <b>&lt;0,001</b> | -3,032            | 0,608 | <b>&lt;0,001</b> | -2,771               | 0,663 | <b>&lt;0,001</b> | -2,902              | 0,598 | <b>&lt;0,001</b> |
| B         | -5,020              | 0,551 | <b>&lt;0,001</b> | -6,041            | 0,521 | <b>&lt;0,001</b> | -5,937               | 0,569 | <b>&lt;0,001</b> | -6,250              | 0,507 | <b>&lt;0,001</b> |
| C         | -3,359              | 0,647 | <b>&lt;0,001</b> | -4,230            | 0,625 | <b>&lt;0,001</b> | -4,523               | 0,715 | <b>&lt;0,001</b> | -3,997              | 0,811 | <b>&lt;0,001</b> |
| D         | -                   | -     | -                | -                 | -     | -                | -                    | -     | -                | -                   | -     | -                |
| E         | -4,480              | 0,568 | <b>&lt;0,001</b> | -4,550            | 0,577 | <b>&lt;0,001</b> | -4,685               | 0,628 | <b>&lt;0,001</b> | -4,408              | 0,575 | <b>&lt;0,001</b> |
| F         | -2,910              | 0,715 | <b>&lt;0,001</b> | -3,935            | 0,589 | <b>&lt;0,001</b> | -2,942               | 0,778 | <b>&lt;0,001</b> | -3,663              | 0,605 | <b>&lt;0,001</b> |
| G         | -3,989              | 0,622 | <b>&lt;0,001</b> | -5,019            | 0,596 | <b>&lt;0,001</b> | -5,378               | 0,661 | <b>&lt;0,001</b> | -4,454              | 0,925 | <b>&lt;0,001</b> |

Valores de p em negrito são significativos em nível de 5%. O indivíduo D foi considerado como referência

**Tabela 49A** – Estimativa do coeficiente (EC), erro-padrão da estimativa (EP) e p-valor (P) das regressões do punho sobre os isótopos individuais e os IOEs.

| Variável  | <sup>111</sup> INDIO |       |                  | <sup>177</sup> LUTÉCIO |       |              | <sup>131</sup> I-MIBG |       |                  | <sup>153</sup> Samário |       |                  |
|-----------|----------------------|-------|------------------|------------------------|-------|--------------|-----------------------|-------|------------------|------------------------|-------|------------------|
|           | EC                   | EP    | P                | EC                     | EP    | P            | EC                    | EP    | P                | EC                     | EP    | P                |
| Constante | 7,499                | 1,158 | <b>&lt;0,001</b> | 2,858                  | 1,323 | <b>0,049</b> | 8,714                 | 0,910 | <b>&lt;0,001</b> | 6,916                  | 1,061 | <b>&lt;0,001</b> |
| Isótopo   | -0,713               | 0,492 | 0,149            | -0,122                 | 0,103 | 0,240        | 0,015                 | 0,010 | 0,167            | 0,013                  | 0,006 | <b>0,040</b>     |
| A         | -3,589               | 1,182 | <b>0,003</b>     | 1,365                  | 1,820 | 0,467        | -2,732                | 0,854 | <b>0,002</b>     | -2,234                 | 1,133 | 0,053            |
| B         | -6,094               | 1,074 | <b>&lt;0,001</b> | -0,438                 | 1,393 | 0,758        | -6,791                | 0,690 | <b>&lt;0,001</b> | -6,889                 | 0,843 | <b>&lt;0,001</b> |
| C         | -4,455               | 1,167 | <b>&lt;0,001</b> | -0,754                 | 1,579 | 0,641        | -4,913                | 1,152 | <b>&lt;0,001</b> | -4,868                 | 1,413 | <b>0,001</b>     |
| D         | -                    | -     | -                | -                      | -     | -            | -                     | -     | -                | -                      | -     | -                |
| E         | -5,370               | 1,086 | <b>&lt;0,001</b> | -2,287                 | 1,311 | 0,105        | -4,428                | 0,936 | <b>&lt;0,001</b> | -6,153                 | 1,097 | <b>&lt;0,001</b> |
| F         | -2,932               | 1,527 | 0,059            |                        |       |              | -4,058                | 0,856 | <b>&lt;0,001</b> | -4,021                 | 1,109 | <b>0,001</b>     |
| G         | -4,031               | 1,273 | <b>0,002</b>     | -0,808                 | 1,517 | 0,603        | -5,955                | 0,948 | <b>&lt;0,001</b> | -6,132                 | 1,005 | <b>&lt;0,001</b> |

Valores de p em negrito são significativos em nível de 5%. O indivíduo D foi considerado como referência

A tabela 50 mostra as estimativas dos coeficientes, erros-padrão e p-valores para duas regressões, uma para o tórax e outra para o punho. Nessas regressões, todos os isótopos foram considerados em um único modelo, como variáveis explicativas, a fim de verificar a influência de cada um dos isótopos, uma vez que os IOEs manipularam todos. Considerando-se o modelo do tórax, verifica-se que apenas o isótopo <sup>18</sup>F-FDG apresenta influência significativa na média da dose de exposição recebida nessa região. Já considerando-se o modelo do punho, verifica-se que nenhum

isótopo apresentou influência significativa na presença dos demais, porém o  $^{18}\text{F}$ -FDG apresentou p-valor próximo em nível de significância estipulado ( $p=0,065$ ), sendo o menor p-valor entre todos os isótopos, indicando que o  $^{18}\text{F}$ -FDG apresenta maior influência na dose de exposição recebida no punho.

Nessa etapa os isótopos  $^{111}\text{Indio}$ ,  $^{177}\text{Lutécio}$  e  $^{153}\text{Samário}$  e os IOEs C e G não foram considerados devido à baixa frequência de observações.

**Tabela 50** – Estimativa do coeficiente (EC), erro-padrão da estimativa (EP) e p-valor (P) das regressões do punho e do tórax sobre os isótopos e os IOEs.

| Variável                 | Tórax  |       |                  | Punho  |       |                  |
|--------------------------|--------|-------|------------------|--------|-------|------------------|
|                          | EC     | EP    | P                | EC     | EP    | P                |
| Constante                | 1,128  | 0,547 | <b>0,042</b>     | 5,118  | 2,811 | 0,072            |
| $^{18}\text{F}$ -FDG     | 0,033  | 0,007 | <b>&lt;0,001</b> | 0,063  | 0,034 | 0,065            |
| $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | -0,002 | 0,013 | 0,867            | 0,119  | 0,071 | 0,100            |
| $^{131}\text{IODO}$      | -0,012 | 0,007 | 0,098            | 0,013  | 0,019 | 0,493            |
| $^{67}\text{GALIO}$      | 0,006  | 0,054 | 0,905            | 0,403  | 0,574 | 0,485            |
| $^{131}\text{I-MIBG}$    | -0,328 | 0,267 | 0,222            | -2,496 | 1,515 | 0,103            |
| A                        | -0,316 | 0,095 | <b>0,001</b>     | -3,306 | 0,899 | <b>&lt;0,001</b> |
| B                        | -0,250 | 0,134 | 0,065            | -6,626 | 0,775 | <b>&lt;0,001</b> |
| D                        | -      | -     | -                | -      | -     | -                |
| E                        | -0,320 | 0,129 | <b>0,015</b>     | -3,950 | 1,039 | <b>&lt;0,001</b> |
| F                        | -0,488 | 0,110 | <b>&lt;0,001</b> | -3,050 | 1,051 | <b>0,004</b>     |

Valores de p em negrito são significativos em nível de 5%. O indivíduo D foi considerado como referência

Visto que o isótopo  $^{18}\text{F}$ -FDG apresentou influência significativa na dose de exposição recebida pelos IOEs e que apresenta um comportamento diferenciado ao longo dos anos de estudo (figura 24), realizou-se uma análise por grupo de anos, com o objetivo de verificar se a influência desse isótopo na dose de exposição sofreu modificação ao longo dos anos. A tabela 51 apresenta os resultados. Nota-se que, considerando o intervalo de anos entre 2000 e 2005, o isótopo  $^{18}\text{F}$ -FDG apresenta influência significativa na dose de exposição recebida no tórax pelos IOEs, porém, considerando-se

os anos de 2006 a 2008, a influência desse isótopo não é significativa, assim como para o punho nos dois intervalos de tempo.

**Tabela 51** – Estimativa do coeficiente (EC), erro-padrão da estimativa (EP) e p-valor (P) das regressões do punho e do tórax sobre o isótopo  $^{18}\text{F}$ -FDG e os IOEs, por intervalo de tempo.

| Variável             | Tórax     |       |                  |           |       |                  | Punho     |       |                  |           |       |                  |
|----------------------|-----------|-------|------------------|-----------|-------|------------------|-----------|-------|------------------|-----------|-------|------------------|
|                      | 2000-2005 |       |                  | 2006-2008 |       |                  | 2000-2005 |       |                  | 2006-2008 |       |                  |
|                      | EC        | EP    | P                | EC        | EP    | P                | EC        | EP    | P                | EC        | EP    | P                |
| Constante            | 0,972     | 0,128 | <b>&lt;0,001</b> | 0,652     | 0,107 | <b>&lt;0,001</b> | 8,821     | 0,851 | <b>&lt;0,001</b> | 4,378     | 0,556 | <b>&lt;0,001</b> |
| $^{18}\text{F}$ -FDG | 0,017     | 0,006 | <b>0,003</b>     | 0,004     | 0,008 | 0,582            | -0,019    | 0,019 | 0,326            | -0,008    | 0,024 | 0,731            |
| A                    | -0,470    | 0,096 | <b>&lt;0,001</b> | 0,061     | 0,075 | 0,419            | -4,187    | 0,910 | <b>&lt;0,001</b> | -1,882    | 0,541 | <b>&lt;0,001</b> |
| B                    | -0,491    | 0,120 | <b>&lt;0,001</b> | 0,047     | 0,074 | 0,522            | -7,532    | 0,787 | <b>&lt;0,001</b> | -2,921    | 0,494 | <b>&lt;0,001</b> |
| C                    | -         | -     | -                | 0,112     | 0,078 | 0,154            | -         | -     | -                | -1,447    | 0,570 | <b>0,012</b>     |
| D                    | -         | -     | -                | -         | -     | -                | -         | -     | -                | -         | -     | -                |
| E                    | -0,562    | 0,101 | <b>&lt;0,001</b> | -0,118    | 0,066 | 0,076            | -4,626    | 0,912 | <b>&lt;0,001</b> | -3,039    | 0,493 | <b>&lt;0,001</b> |
| F                    | -0,547    | 0,091 | <b>&lt;0,001</b> | -         | -     | -                | -4,389    | 0,869 | <b>&lt;0,001</b> | -         | -     | -                |
| G                    | -         | -     | -                | 0,176     | 0,087 | <b>0,049</b>     | -         | -     | -                | -2,132    | 0,546 | <b>&lt;0,001</b> |

Valores de p em negrito são significativos em nível de 5%. O indivíduo D foi considerado como referência

Tendo como base os resultados obtidos até então, uma nova análise foi realizada com o intuito de se observar se os isótopos mais utilizados na rotina diária dos serviços de medicina nuclear ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{67}\text{Gálio}$  e  $^{131}\text{Iodo}$ ) juntos, poderiam exercer, também, influência significativa na dose de exposição dos IOEs.

Considerando-se o isótopo  $^{18}\text{F}$ -FDG e soma dos isótopos  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{Iodo}$  e  $^{67}\text{Gálio}$  em um mesmo modelo, estudados por intervalo de tempo, verifica-se que:

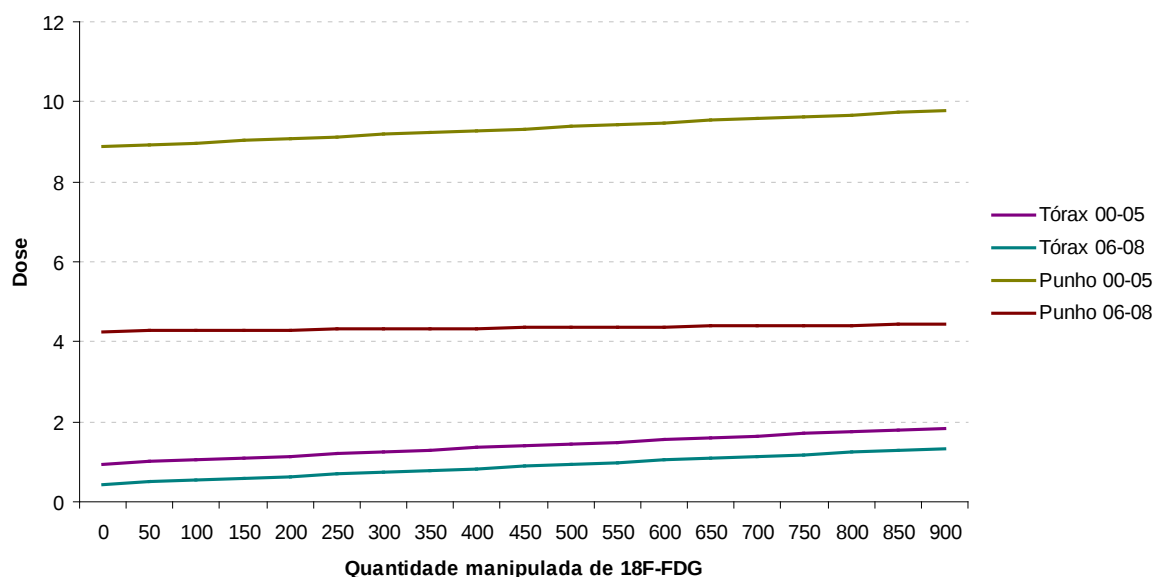
- o isótopo  $^{18}\text{F}$ -FDG apresenta influência significativa na dose de exposição do tórax entre os anos de 2000 e 2005 e no punho, entre os anos de 2006 e 2008;

- a soma dos isótopos  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{Iodo}$  e  $^{67}\text{Galio}$  não apresentou influência significativa na dose de exposição, tanto no tórax quanto no punho, em nenhum dos dois períodos analisados.

**Tabela 52** – Estimativa do coeficiente (EC), erro-padrão da estimativa (EP) e p-valor (P) das regressões do punho e do tórax sobre o isótopo  $^{18}\text{F-FDG}$  e a soma dos isótopos  $^{99m}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{Iodo}$ ,  $^{67}\text{Galio}$  e os IOEs, por intervalo de tempo.

| Variável            | Tórax     |       |                  |           |       |              | Punho     |       |                  |           |       |                  |
|---------------------|-----------|-------|------------------|-----------|-------|--------------|-----------|-------|------------------|-----------|-------|------------------|
|                     | 2000-2005 |       |                  | 2006-2008 |       |              | 2000-2005 |       |                  | 2006-2008 |       |                  |
|                     | EC        | EP    | P                | EC        | EP    | P            | EC        | EP    | P                | EC        | EP    | P                |
| Constante           | 1,231     | 0,262 | <b>&lt;0,001</b> | 0,693     | 0,262 | <b>0,010</b> | 11,534    | 2,175 | <b>&lt;0,001</b> | 2,368     | 1,350 | 0,083            |
| $^{18}\text{F-FDG}$ | 0,019     | 0,007 | <b>0,009</b>     | 0,011     | 0,012 | 0,354        | -0,082    | 0,067 | 0,226            | 0,087     | 0,041 | <b>0,038</b>     |
| Soma                | -0,008    | 0,005 | 0,133            | -0,002    | 0,006 | 0,737        | -0,040    | 0,030 | 0,183            | 0,032     | 0,025 | 0,203            |
| A                   | -0,446    | 0,092 | <b>&lt;0,001</b> | 0,094     | 0,093 | 0,313        | -3,571    | 0,862 | <b>&lt;0,001</b> | -2,170    | 0,703 | <b>0,003</b>     |
| B                   | 0,225     | 0,311 | 0,471            | -0,009    | 0,110 | 0,934        | -6,891    | 0,864 | <b>&lt;0,001</b> | -3,752    | 0,635 | <b>&lt;0,001</b> |
| C                   | -         | -     | -                | 0,025     | 0,173 | 0,886        | -         | -     | -                | -0,831    | 1,391 | 0,552            |
| D                   | -         | -     | -                | -         | -     | -            | -         | -     | -                | -         | -     | -                |
| E                   | -0,394    | 0,130 | <b>0,003</b>     | -0,129    | 0,082 | 0,121        | -2,838    | 1,135 | <b>0,014</b>     | -3,092    | 0,660 | <b>&lt;0,001</b> |
| F                   | -0,508    | 0,092 | <b>&lt;0,001</b> | -         | -     | -            | -3,647    | 0,853 | <b>&lt;0,001</b> | -         | -     | -                |
| G                   | -         | -     | -                | 0,087     | 0,212 | 0,681        | -         | -     | -                | -0,827    | 1,561 | 0,598            |

Valores de p em negrito são significativos em nível de 5%. O indivíduo D foi considerado como referência



**Figura 39** – Relação entre dose de exposição e quantidade manipulada de  $^{18}\text{F-FDG}$  segundo os modelos da tabela 50.

O IOE D, indicado como indivíduo de referência neste estudo, manipulou as maiores quantidades não só de  $^{18}\text{F}$ -FDG, mas também de  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{67}\text{Ga}$  e  $^{131}\text{I}$ , resultando na maior exposição do grupo (média de 0,99 mSv para o tórax e 7,08 para o punho). Juntamente com o IOE B, desempenhou suas atividades durante todo o estudo, sem interrupções, e no 1º período abordado, sempre pela manhã, momento em que uma maior quantidade de isótopos, principalmente o  $^{18}\text{F}$ -FDG era manipulado. A escolha deste indivíduo como referência não foi aleatória, mas indicada, por estar presente em todo o estudo, manipular as maiores quantidades de isótopos e tratar-se de um indivíduo com larga experiência em medicina nuclear e treinamento para o manuseio de fontes radioativas, além de utilizar dosímetros e equipamentos de proteção individual durante a realização de todas as tarefas, representando um padrão para o estudo. Todos os demais IOEs apresentam média significativamente inferior ao IOE D, com estimativa de coeficiente negativo, fato que pode ser observado nas tabelas 48/48A, 49/49A, 50, 51 e 52, indicando que receberam doses inferiores ao indivíduo de referência.

## 7 DISCUSSÃO

O desenvolvimento da tecnologia de Tomografia por Emissão de Pósitrons, associada à Tomografia Computadorizada, vem crescendo e ocupando um importante papel na área de Imagem por ser uma ferramenta diagnóstica capaz de proporcionar em um mesmo sistema a detecção anatômica e funcional de lesões, fornecendo informações precisas para muitas áreas, principalmente a oncologia.

O radiofármaco utilizado com maior frequência para a realização dos exames de PET/CT é o  $^{18}\text{F}$ -FDG (fluorodeoxiglicose). O  $^{18}\text{F}$  decai pela emissão de pósitrons do núcleo, seguido pela colisão de um pósitron com um elétron, resultando em 2 fótons gama de 511Kev, que são emitidos em direções opostas ( $180^\circ$ ). Os fótons de 511Kev são o resultado da conversão da massa do elétron em energia. Devido à constante específica dos raios gama do  $^{18}\text{F}$  ser alta (cerca de 6 vezes maior do que a do  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ), e à maior capacidade de penetração dos fótons de 511Kev, a equipe de indivíduos ocupacionalmente expostos recebe uma dose maior de exposição à radiação.

A constatação de tais fatos motivou autores como CHIESA et al. (1997); BIXLER et al. (1999); GUILLET et al. (2005); ROBERTS et al. (2005); PANT e SENTHAMIZHCHELVAN (2006); SEIERSTAD et al. (2007); AMARAL et al. (2007); PAKBIERS e KEMERINK (2007); HIPPELÄINEN et al. (2008) e LEIDE-SVEGBORN (2010), a realizar estudos para que melhor

se percebessem os níveis de exposição à radiação recebida pelos trabalhadores ao realizar tarefas com emissores de pósitrons. Nesses estudos foi observado que as maiores taxas de exposições estão relacionadas às tarefas de manipulação e administração do isótopo e durante a interação com o paciente.

O estudo aqui apresentado teve por objetivo de avaliar a exposição ocupacional de uma equipe técnica com o uso clínico do  $^{18}\text{F}$ -FDG.

A comparação direta dos resultados obtidos neste estudo com os resultados encontrados na literatura foi uma tarefa difícil de ser realizada. Esta dificuldade também foi encontrada por GOMES et al. (2008) e COVENS et al. (2010).

O caráter retrospectivo do estudo (2000 a 2008) foi a principal diferença dos estudos de referência, que foram realizados prospectivamente. Outro diferencial foi a metodologia empregada. Os estudos de PANT e SENTHAMIZHCHELVAN (2006), SEIERSTAD et al. (2007), GOMES et al. (2008) e WALLACE et al. (2008) realizaram as medidas de exposição em tempo real, utilizando-se de monitores eletrônicos para esta tarefa. Os períodos de tempo analisados também constituíram um diferencial. PANT e SENTHAMIZHCHELVAN (2006) desenvolveram seu estudo por um período de 3 meses, GUILLET et al. (2005) por 6 meses, SEIERSTAD et al. (2007) por 2 meses, PAKBIERS e KEMERINK (2007) por 1 ano e ROBERTS et al. (2005) e HIPPELÄINEN et al. (2008) por 2 anos.

A quantidade de pacientes e indivíduos ocupacionalmente expostos estudados, também pode ser destacada. SEIERSTAD et al. (2007),

avaliaram 2 membros da equipe durante o atendimento a 50 pacientes; ROBERTS et al. (2005), avaliaram 6 tecnólogos com a média de 1500 pacientes atendidos; PAKBIERS e KEMERINK (2007), estudaram a exposição de 1 único tecnólogo para a realização de, aproximadamente, 1000 exames de PET/CT; GUILLET et al. (2005), avaliaram as tarefas de 3 tecnólogos durante a realização em média de 12 exames de PET/CT por dia e HIPPELÄINEN et al. (2008), estudaram dois técnicos para a média de 80 pacientes atendidos por mês. No estudo de PANT e SENTHAMIZHCHELVAN (2006), 64 pacientes foram examinados, porém as tarefas de manipulação e realização das imagens ficaram sob a responsabilidade de 2 tecnólogos, enquanto a administração do radiofármaco foi realizada por 2 médicos. Somente os autores CHIESA et al. (1997), ROBERTS et al. (2005), HIPPELÄINEN et al. (2008), compararam as doses de exposição dos indivíduos ocupacionalmente expostos durante o manuseio de isótopos convencionais de medicina nuclear e a realização de tarefas com a utilização de  $^{18}\text{F}$ -FDG.

As doses de exposição analisadas neste estudo referem-se à utilização concomitante dos isótopos convencionais e do uso clínico do  $^{18}\text{F}$ -FDG.

Observou-se influência significativa ( $p < 0,05$ ) do uso de  $^{18}\text{F}$ -FDG na exposição dos IOEs, no período compreendido entre o início das atividades com este isótopo em 2001 até 2005, resultando em doses de exposição mensais elevadas. A maior exposição dos trabalhadores devido ao uso de  $^{18}\text{F}$ -FDG é constatada também nos estudos de GUILLET et al. (2005); PANT

e SENTHAMIZHCHELVAN (2006); SEIERSTAD et al. (2007); ROBERTS et al. (2005); WALLACE et al. (2008); KOP et al. (2008) e LEIDE-SVEGBORN (2010). A seguir, encontram-se os vários fatores que podem justificar o aumento da exposição dos trabalhadores neste estudo.

No início das atividades com o  $^{18}\text{F}$ -FDG, o equipamento utilizado para a realização dos exames era uma gama-câmera híbrida com detectores de coincidência, acoplado a uma ampola de CT, que exigia tempo maior para aquisição das imagens e maiores atividades administradas aos pacientes (figura 40), além a realização do controle de qualidade diário com uma fonte puntual de 50  $\mu\text{Ci}$  de  $^{18}\text{F}$ -FDG. A realização dessa fonte e o seu posicionamento no equipamento eram tarefas laboriosas, ocasionando exposição prolongada do IOE que as estava realizando. KOP et al. (2008) relatam em seu estudo que a realização dos controles de qualidade diários contribuem, em média, com 0,07 mSv para a dose mensal no tórax.



**Figura 40** – Equipamento Millennium VG-GE – Gama-câmera híbrida com detectores de coincidência e ampola de CT acoplada

Até 2002, a capacidade de atendimento a pacientes para a realização do exame de PET/CT restringiu-se a 8 pacientes por semana, devido à limitação na produção do  $^{18}\text{F}$ -FDG pelo IPEN, fornecedor desta Instituição. Em meados de 2003, com a expansão da produção e fornecimento deste radiofármaco, foi possível aumentar a capacidade de atendimento para a média de 16 pacientes por semana. Para suprir essas necessidades, um novo membro foi introduzido à equipe (IOE E). A incorporação de novos trabalhadores para melhor divisão de tarefas, devido ao aumento da capacidade de atendimento, foi uma medida adotada por WALLACE et al. (2008).

Esse aumento na manipulação e administração do  $^{18}\text{F}$ -FDG e a condução e posicionamento de um maior número de pacientes elevaram a dose de exposição dos IOEs nos anos 2003 e 2004 como mostram as tabelas 11, 12, 13, 15, 16 e 17. Autores como PANT e SENTHAMIZHCHELVAN (2006); PAKBIERS e KEMERINK (2007); WALLACE et al. (2008); GUNALP e ILGAN (2008) e LEIDE-SVEGBORN (2010), atribuem às tarefas de condução e posicionamento dos pacientes como sendo as principais responsáveis pelo aumento das doses de exposição dos trabalhadores, enquanto que ROBERTS et al. (2005); SEIERSTAD et al. (2007) e HIPPELÄINEN et al. (2008), atribuem às tarefas de manipulação e administração do  $^{18}\text{F}$ -FDG o equivalente à metade da dose de exposição recebida pelos IOEs, ficando a outra metade às tarefas de condução e posicionamento dos pacientes. Entretanto, ZEFF e YESTER (2005), descrevem em seu estudo que a administração do  $^{18}\text{F}$ -FDG é

responsável pela maior dose dos técnicos. É importante salientar que, neste momento do estudo aqui apresentado, a manipulação e administração do  $^{18}\text{F}$ -FDG ocorria em 95% das vezes pela manhã, ocasionando uma maior exposição da equipe que desempenhava suas funções nesse horário, como é o caso dos IOEs A, D, E e F.

Ao fim de 2004 com a descontinuidade do trabalho por licença maternidade do IOE A e a conseqüente sobrecarga da equipe ativa, as doses de exposição mensal ultrapassaram por diversas vezes os níveis de investigação. Nesse momento, algumas estratégias foram adotadas com o intuito de minimizar a exposição dos trabalhadores.

Dentre as medidas adotadas, estão a incorporação de novos membros à equipe (IOE C em 2004 e G em 2005) e a implantação de uma escala de trabalho, com a padronização de períodos, horas trabalhadas e melhor divisão das tarefas desenvolvidas. Tais medidas foram aplicadas e sugeridas por PANT e SENTHAMIZHCHELVAN (2006) e WALLACE et al. (2008) para a redução da exposição dos trabalhadores.

A punção de um acesso venoso periférico através de um dispositivo intravenoso para infusão e as instruções dos procedimentos pertinentes ao exame (figura 41), passaram a ser tarefas realizadas a partir desse momento pela equipe de enfermagem, o que propiciou maior agilidade no trabalho dos IOEs e minimizou a exposição durante a administração do radiofármaco, devido ao menor tempo gasto no contato com o paciente. Com a implantação destas mesmas medidas TOWSON (2003), GUILLET et al. (2005), PANT e SENTHAMIZHCHELVAN (2006), PAKBIERS e KEMERINK

(2007), CRUZATE e DISCACCIATTI (2008), comprovaram a redução da exposição da equipe.



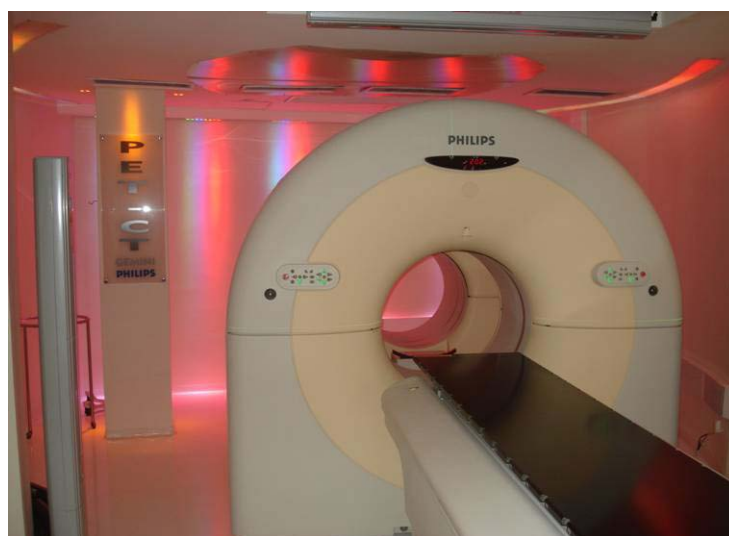
**Figura 41** – Preparo do acesso venoso pela equipe de enfermagem

De igual relevância às outras medidas adotadas está a implantação de programas de treinamento da equipe, orientando sobre a importância da uniformidade na execução das tarefas desempenhadas e visando o controle da exposição ocupacional através da conscientização dos princípios ALARA e de tempo, distância e blindagem, com o objetivo de se cumprirem as normas estabelecidas para a proteção dos IOE à radiação ionizante e à manutenção dos limites mensais/anuais de exposição. A adoção de programas de treinamento, a conscientização dos princípios ALARA, a diminuição do tempo de exposição e o aumento da distância entre o trabalhador e a fonte de exposição, principalmente o contato com o paciente, foram medidas adotadas nos estudos de BIXLER et al. (1999), TOWSON (2003), PANT e SENTHAMIZHCHELVAN (2006), GUNALP e ILGAN (2008),

KOP et al. (2008), DEVINE e MAWLAWI (2010) e LEIDE-SVEGBORN (2010), como parte das estratégias para otimizar o trabalho e minimizar a exposição dos IOEs nos serviços com o uso de  $^{18}\text{F}$ -FDG.

O segundo período identificado pelo estudo compreende os anos de 2006 a 2008, no qual não se observou influência significativa do  $^{18}\text{F}$ -FDG para as doses registradas no tórax e punho (tabela 51). Foi possível atribuir tal fato a alguns fatores e medidas implantadas e/ou melhoradas em tal período.

O equipamento de PET/CT dedicado (Gemini – Philips) (figura 42) que entrou em atividade em fevereiro de 2006, apresenta maior sensibilidade e especificidade, tornando possível a redução da atividade da dose de  $^{18}\text{F}$ -FDG, administrada por paciente; embora a capacidade média de atendimento tenha atingido 50 pacientes por semana após sua introdução, as quantidades manipuladas e administradas de  $^{18}\text{F}$ -FDG foram equivalentes às registradas no 1º período identificado pelo estudo.



**Figura 42** – Equipamento PET/CT dedicado – Philips.

O rodízio de tarefas dos IOEs com adequação das práticas de trabalho foram medidas implantadas por PANT e SENTHAMIZHCHELVAN (2006) e GUNALP e ILGAN (2008). Neste estudo, o rodízio de tarefas foi adotado com a permanência em períodos equivalentes no laboratório de manipulação e operação de equipamentos.

GUILLET et al. (2005) descrevem em seu estudo a construção de um separador de doses, desenvolvido para o fracionamento das doses sem o contato direto com o frasco do radiofármaco, alocada por trás de uma barreira de 60 mm de chumbo com uma janela de vidro plumbífero com 55 mm de chumbo equivalente. CRUZATE e DISCACCIATTI (2008), armazenaram o frasco de  $^{18}\text{F}$ -FDG em uma blindagem de chumbo com cinco cm de espessura, contando com um dispositivo para levantar o frasco no momento da manipulação. Um vidro plumbífero completava a estrutura de proteção.

No intuito de reduzir as exposições, foi projetado e desenvolvido dentro do setor um separador de doses que permite a manutenção do frasco do  $^{18}\text{F}$ -FDG dentro da blindagem original utilizada para o transporte desde o ciclotron até os serviços de medicina nuclear (figura 43) e que contém o equivalente a três cm de espessura de chumbo, permitindo que as doses sejam fracionadas sem a manipulação direta do frasco do radiofármaco, semelhante ao executado por GUILLET et al. (2005) e posteriormente por CRUZATE e DISCACCIATTI (2008). Uma barreira adicional foi construída com tijolos de chumbo de quatro cm de espessura e interposta entre o

recipiente que armazena o  $^{18}\text{F}$ -FDG e o IOE. Uma janela de vidro plumbífero completou a estrutura construída que pode ser visualizada na figura 44.



**Figura 43** – Blindagem utilizada para o Transport do  $^{18}\text{F}$ -FDG



**Figura 44** – Separador de doses

A utilização do separador de doses desenvolvido, conferiu maior agilidade e precisão na separação das doses de  $^{18}\text{F}$ -FDG, diminuindo o tempo gasto na execução desta tarefa e minimizando a exposição dos IOEs.

Uma blindagem móvel de chumbo, com 15 mm de espessura, passou a ser utilizada no momento da administração do  $^{18}\text{F}$ -FDG, aumentando a distância entre o paciente e o trabalhador, conferindo assim maior proteção (figura 45).



**Figura 45** – Blindagem móvel com 15 mm de espessura de chumbo

Em seu estudo, DEVINE e MAWLAWI (2010), recomendaram o uso de proteção móvel adicional no momento da injeção. KOP et al. 2008 observaram uma redução significativa na dose do tórax dos tecnólogos com o uso de proteção móvel de chumbo (0,21 mSv com a proteção e 1,94 mSv sem a proteção). Uma redução de aproximadamente 75% na exposição dos trabalhadores durante a administração do  $^{18}\text{F}$ -FDG, com a utilização de uma proteção móvel de chumbo foi observada por WALLACE et al. (2008).

O transporte e administração do  $^{18}\text{F}$ -FDG foram realizados dentro de um protetor de seringa com espessura de 2,2 cm de chumbo (figuras 46 e 47). CRUZATE e DISCACCIATTI (2008), em seus relatos, descreveram que a seringa contendo  $^{18}\text{F}$ -FDG foi alocada dentro de uma proteção de chumbo cilíndrica e a administração realizada através de um catéter com a seringa mantida dentro da proteção de chumbo, semelhante ao desenvolvido neste estudo.



**Figura 46** – protetor de seringa de chumbo **Figura 47** – aplicação do  $^{18}\text{F}$ -FDG utilizado na administração do  $^{18}\text{F}$ -FDG

Nos estudos realizados por ZEFF e YESTER (2005), BIRAN et al. (2004), TANDON et al. (2007) e DEVINE e MAWLAWI (2010), foi recomendado o uso de protetor de seringa de Tungstênio. O Tungstênio é um material que apresenta alta densidade ( $19,3 \text{ g/cm}^3$ ). A densidade de um material está relacionada com a sua habilidade em frear a radiação; assim, devido a sua alta densidade (cerca de 60% maior do chumbo), tem um poder muito maior em frear a radiação, sendo necessário quantidades e espessuras inferiores de tungstênio para barrar a radiação quando comparado à utilização de chumbo. ZEFF e YESTER (2005), descreveram o uso de protetores de tungstênio durante a preparação e administração do  $^{18}\text{F}$ -FDG. BIRAN et al. (2004) observaram uma redução de 25% na exposição dos trabalhadores com a utilização de protetores de tungstênio. TANDON et al. (2007) sugeriram que para uma proteção mais efetiva e a redução da dose das extremidades, a espessura da proteção de tungstênio deva estar entre 1,9 e 3,05 mm, enquanto que DEVINE e MAWLAWI (2010)

relataram que dependendo da espessura da proteção, a redução da dose nas extremidades pode variar entre 88 a 99%.

A utilização de injetores semiautomáticos ou automáticos foram medidas sugeridas e adotadas nos estudos desenvolvidos por GUILLET et al. (2005); PAKBIERS e KEMERINK (2007); CRUZATE e DISCACCIATTI (2008); COVENS et al. (2010); DEVINE e MAWLAWI (2010) e LEIDE-SVEGBORN (2010). Tais autores atribuem a esses recursos, a otimização do trabalho e a redução das doses de exposição de seus trabalhadores. A comparação desses dados com esse estudo, não foi possível de ser realizada, uma vez que não se dispõe destes recursos na Instituição.

Durante a realização dos procedimentos de manipulação, administração, condução e posicionamento dos pacientes, a equipe de IOEs deste estudo utilizou avental de chumbo com espessura de 5 mm. A utilização do avental de chumbo durante a administração do  $^{18}\text{F}$ -FDG também foi observada no estudo realizado por AMARAL et al. (2007).



**Figura 48** – uso do avental de chumbo durante administração do  $^{18}\text{F}$ -FDG



**Figura 49** – uso do avental de chumbo durante a manipulação do  $^{18}\text{F}$ -FDG

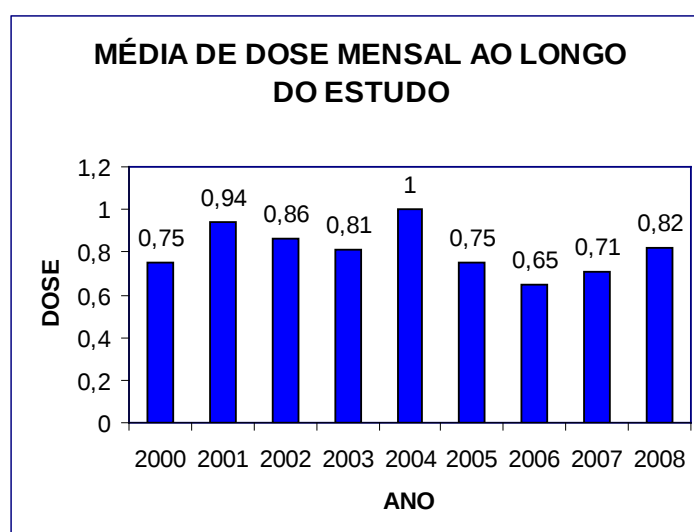
FUJIBUCHI et al. (2010), desenvolveram um estudo, onde a dose de corpo inteiro durante os exames com utilização de  $^{18}\text{F}$ -FDG foi avaliada pelo uso de fantoma. Relatam que não houve diferença nas doses absorvidas pelos órgãos avaliados quando o avental com 2,5 mm de chumbo foi utilizado, concluindo que esta proteção não é efetiva para emissores de pósitrons e que as vantagens de seu uso são limitadas, uma vez que a sua utilização diminui a eficiência do trabalho da equipe. No estudo realizado por LEIDE-SVEGBORN (2010), a eficácia do uso de avental de chumbo foi verificada pela medida da taxa de dose de um fantoma cilíndrico de 9200 ml de água destilada com 50 MBq de  $^{18}\text{F}$ -FDG, o qual foi colocado sobre uma mesa e a taxa de dose medida a várias distâncias da fonte de radiação, com e sem o avental de chumbo de 5 mm de espessura entre eles. Este autor concluiu que a diminuição de 26 a 25  $\mu\text{Sv h}^{-1}$  na exposição, quando o avental de chumbo foi colocado entre a fonte de radiação e a medida realizada a uma distância de 0,2 m do fantoma, não foi uma redução significativa. Quando a medida foi realizada a dois metros da fonte, a taxa de dose foi a mesma com e sem o uso do avental.

A não utilização do avental de chumbo, sugerida pelos referidos autores pode estar relacionada ao fato da formação da radiação de Bremsstrahlung originada da interação da radiação  $\beta$  com materiais de elevado número atômico, como é o caso do chumbo ( $Z = 82$ ). A radiação de Bremsstrahlung é constituída por raios X característicos que ocorrem quando o elétron livre da radiação  $\beta$  nocauteia um elétron da camada interna do material de elevado número atômico. Outro elétron é, então, alocado

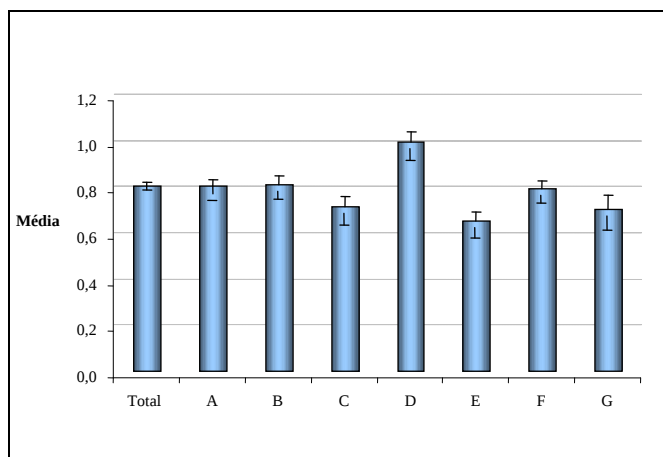
nessa camada interna doando energia na forma de raio-X, que é dependente do nível ao qual o elétron foi alocado (BOLUS 2008). Segundo TOWSON (2003), a porcentagem de energia de pósitrons incidentes que é convertida em Bremsstrahlung, no chumbo é 1,8 e no tungstênio é 1,6.

Embora os indivíduos participantes deste estudo tenham o conhecimento da formação da radiação de Bremsstrahlung, entendem que a utilização do avental de chumbo é uma proteção importante, principalmente pela diversidade de isótopos manipulados por estes IOEs. Desta forma, a retirada do avental de chumbo a cada procedimento realizado com  $^{18}\text{F}$ -FDG, tornar-se-ia uma tarefa inviável.

Os gráficos a seguir representam as médias mensais em sua totalidade das doses de exposição recebidas no tórax ao longo do estudo e por IOE, tendo, também, por objetivo, ilustrar o comportamento das doses recebidas pela equipe. A comparação dos valores encontrados com os constantes na literatura de referência não foi realizada devido à diversidade metodológica dos estudos.



**Figura 50** – Média de dose mensal ao longo do estudo.



**Figura 51** – Média e erro padrão na dose do tórax ao longo do estudo e por IOE

As diferenças na dosimetria dos IOEs, participantes deste estudo, puderam ser explicadas pela experiência e maior eficiência dos veteranos. No segundo período analisado, momento em que ocorreu a equiparação das tarefas desempenhadas, observa-se que as doses de exposição dos IOEs A, B, D e E, cujo treinamento e experiência no manuseio de fontes radioativas ultrapassa 10 anos para os indivíduos A e E, e mais de 20 anos para os indivíduos B e D foram bastante semelhantes entre si, enquanto que os IOEs C e G, menos experientes e treinados, atuando há pouco mais de 2 anos nestas funções, receberam doses de exposição relativamente maiores que os mais experientes.

SEIERSTAD et al. (2007) realizaram seu estudo com a participação de dois técnicos com experiência em medicina nuclear convencional por mais de 20 anos, sendo altamente treinados para o manuseio de fontes radioativas. Por esse fato, não utilizavam qualquer proteção para o manuseio do  $^{18}\text{F}$ -FDG, porém faziam-no com eficiência e agilidade, além de

terem sido instruídos para permanecerem o menor tempo possível próximos ao paciente.

No estudo de WALLACE et al. (2008) os técnicos de medicina nuclear foram classificados como experientes e em treinamento, a fim de se investigarem as possíveis diferenças dosimétricas e justificá-las baseadas na experiência e eficiência. Com medidas em tempo real, verificaram que a exposição dos experientes é menor nas tarefas de manipulação, transporte, administração do radiofármaco e, também, no acompanhamento e posicionamento do paciente. Constataram, porém, que os experientes receberam doses de exposição mensais maiores que os em treinamento, atribuindo os resultados à maior carga de trabalho dos experientes, ao atendimento a pacientes com maior grau de dificuldade, além do tempo adicional necessário para treinar os novos técnicos. Concluíram que a experiência é um fator determinante na exposição ocupacional, fato também verificado no presente estudo.

TANDON et al. (2007) relataram que a experiência e qualificação dos trabalhadores, aliadas a boas práticas de trabalho e manipulação são fatores primordiais para a redução da dose de exposição da equipe.

HIPPELÄINEN et al. (2008) e COVENS et al. (2010) descreveram em seus estudos que as doses recebidas pelos IOEs além de serem muito suscetíveis, sofrem a influência dos hábitos pessoais de trabalho e das condições dos pacientes atendidos, sendo, também, sugestivas das práticas de proteção radiológica adotadas pelas instituições.

A continuidade dos programas educacionais de treinamento, visando à conscientização cada vez maior dos preceitos de tempo, distância e blindagem, aliada ao aumento na experiência e versatilidade em manipular isótopos de alta energia, permitiu a manutenção e controle das doses de exposição da equipe. A melhoria nas práticas de trabalho individuais e a implantação de procedimentos operacionais padrão asseguraram a aplicabilidade dos preceitos ALARA.

Apesar de todas as diferenças e divergências apontadas, o grande número de dados obtidos e o longo período estudado asseguraram a boa qualidade das análises empregadas e permitiram identificar e comprovar, estatisticamente, fases distintas e a eficácia das estratégias implantadas ao longo do estudo, na tentativa de minimizar a exposição à radiação da equipe técnica durante o uso de  $^{18}\text{F}$ -FDG e de todos os outros isótopos convencionais utilizados na rotina dos serviços de medicina nuclear.

## 6 CONCLUSÕES

A introdução e uso clínico do  $^{18}\text{F}$ -FDG aumenta a dose de exposição dos IOEs em relação a utilização de outros isótopos convencionais de Medicina Nuclear.

A adoção de medidas específicas de Proteção Radiológica permite o controle e manutenção destas doses dentro dos limites estabelecidos pela CNEN.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral A, Itié C, Bok B. Dose absorbed by technologists in positron emission tomography procedures with FDG. **Braz Arch Biol Technol** 2007; 50:129-134.

Anderson JA, Mathews D. **Site planning and radiation safety in the pet facility.** Department of Radiology, The University of Texas Southwestern Medical Center at Dallas, TX 75390-9071. Available from: <URL:<http://www.aapm.org/meetings/02AM/pdf/8418-39272.pdf>> [2008 set 25]

Bellintani AS, Gili FN, coordenadores. **Noções básicas de proteção radiológica.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN. 2002. p.19-22. Disponível em: <URL:<http://www.engeworks.com.br/arquivos/PROTE%C3%87%C3%83O%20RADIOL%C3%93GICA.pdf>> [2008 set 26]

Biran T, Weininger J, Malchi S, Marciano R, Chisin R. Measurements of occupational exposure for a technologist performing F FDG PET scans. **Health Phys** 2004; 87:539-44.

Bixler A, Springer G, Lovas R. Practical aspects of radiation safety for using fluorine-18. **J Nucl Med Technol** 1999; 27:14-6.

Bolus NE. Review of common occupational hazards and safety concerns for nuclear medicine technologists. **J Nucl Med Technol** 2008; 36:11-7

Cardoso EM. **Apostila radioatividade.** 2005. Disponível em: <URL:<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/radio.pdf>> [2008 set 26].

Chiesa C, De Sanctis V, Crippa F, et al. radiation dose to technicians per nuclear medicine procedure: comparison between technetium-99m, gallium-67, and iodine-131 radiotracers and fluorine-18 fluorodeoxyglucose. **Eur J Nucl Med** 1997; 24:1380-9.

[CNEN] Comissão Nacional de Energia Nuclear. NN-3.05 – abril/1996. **Normas para radioproteção – Requisitos de radioproteção e segurança para serviços de medicina nuclear.** Disponível em: <URL:<http://www.cnem.gov.br/seguranca/normas/doc/Nrm305.swf>> [2008 set 26].

[CNEN] Comissão Nacional de Energia Nuclear. NN-6.01 – julho/1998 - **Normas para instalações radiativas – Requisitos para o registro de pessoas físicas para o preparo, uso e manuseio de fontes radioativas.** Disponível em: <URL:<http://www.cnem.gov.br/seguranca/normas/doc/Nrm601.swf>> [2008 set 26].

[CNEN] Comissão Nacional de Energia Nuclear. NN-3.01 – janeiro/2005. **Normas para radioproteção: diretrizes básicas para proteção radiológica.** Disponível em: <URL:<http://www.cnem.gov.br/seguranca/normas/normas.asp?grupo=3>> [2008 set 26].

Covens P, Berus D, Vanhavere F, Caveliers V. The introduction of automated dispensing and injection during PET procedures: a step in the optimisation of extremity and whole-body doses of nuclear medicine staff. **Radiat Prot Dosimetry** 2010; 140:250-8.

Cruzate J, Discacciatti A. **Shielding of medical facilities shielding desing considerations for PET-CT facilities.** In: Proceedings of the Twelfth International Conference of the IRPA, 19-24 October 2008. Available from: <URL:[http://www.irpa12.org.ar/PDF/RC/RC\\_18\\_fullpaper.pdf](http://www.irpa12.org.ar/PDF/RC/RC_18_fullpaper.pdf)> [2010 mar 01].

Daros KAC. **Detectores de radiação ionizante** – Universidade Federal de São Paulo. Disponível em: <URL:<http://www.cfhr.epm.br/aulafisica.php>> p.1-9 [2008 set 27]

Devine CE, Mawlawi O. Radiation safety with positron emission tomography and computed tomography. **Semin Ultrasound CT MRI** 2010; 31:39-45.

Fujibuchi T, Iimori T, Isobe T, et al. Measurement of absorbed doses in organs of medical staff at  $^{18}\text{F}$ -FDG pet examination. **Radiol Phys Technol** 2010; 3:34-9.

Gomes RQD, Carvalho JWA, Oliveira MA, et al. **Evaluation of radiation doses from patients in  $^{18}\text{F}$ -FDG nuclear medicine procedures**. In: Proceedings of the Twelfth International Conference of the IRPA, 19-24 October 2008. Available from: <URL:<http://www.irpa12.org.ar-pdf> 0915> [2010 mar 01].

Guillet B, Quentin P, Waultier S, Bourrelly M, Pisano P, Mundler O. Technologist Radiation Exposure in Routine Clinical Practice with  $^{18}\text{F}$ -FDG PET. **J Nucl Med Technol** 2005; 33:175-9.

Guimarães MICC – **Radioproteção e dosimetria em diagnóstico com elementos emissores de pósitrons utilizados em medicina nuclear**. In: XI Congresso Brasileiro de Física Médica, 14-17 julho/2006. Disponível em: <URL:[http://www.abfm.org.br/c2006/palestras/MN5\\_Guimaraes.pdf](http://www.abfm.org.br/c2006/palestras/MN5_Guimaraes.pdf)> [2008 set 27].

Gunalp B, Ilgan S. **Radiation protection and dosimetry in PET and PET/CT**. In: Proceedings of the Twelfth International Conference of the IRPA, 19-24 October 2008. Available from: <URL:<http://www.irpa12.org.ar/fullpapers/FP1071.pdf>> [2010 mar 01].

Hippeläinen E, Nikkinen P, Ihalainen T, Uusi-Simola J, Savolainen S. Personal radiation doses in pet/ct facility: measurements vs. calculations. **Radiat Prot Dosimetry** 2008; 132:57-63.

Kop JMM, Kemerink GJ, Öllers MC, Pakbiers MT. **Optimization of radiation protection as a result of PET/CT applications**. In: Proceedings of the Twelfth International Conference of the IRPA, 19-24 October 2008. Available from: <URL:<http://www.irpa12.org.ar/fullpapers/FP0558.pdf>> [2010 mar 01].

Leide-Svegborn S. Radiation exposure of patients and personal from a pet/ct procedure with 18F-FDG. **Radiat Prot Dosimetry** 2010; 138:1-6.

Lima ENP. Aspectos práticos de medicina nuclear em oncologia. In: Kowalski LP, Anelli A, Salvajoli JV, Lopes LP, editores. **Manual de condutas diagnósticas e terapêuticas em oncologia**. 2 ed. São Paulo: Âmbito Editores; 2002. p.69-74.

Madsen MT, Anderson JA, Halama JR, et al. AAPM task group 108: PET and PET/CT shielding requirements. **Med Phys** 2006; 33:4-15.

Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Resolução RDC nº 38, de 04 de Junho de 2008**. Dispõe sobre a instalação e funcionamento de Serviços de Medicina Nuclear “in vivo”. Disponível em: <URL:<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=31277>eword> [2008 set 26]

Okuno E, Caldas IL, Chow C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra; 1982a. Conceitos básicos sobre radioproteção; p.2-12.

Okuno E, Caldas IL, Chow C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra; 1982b. Proteção radiológica; p.21-7.

Okuno E, Caldas IL, Chow C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra; 1982c. Desintegração nuclear; p.41-8.

Okuno E, Caldas IL, Chow C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra; 1982d. Raio X; p.49-54.

Okuno E, Caldas IL, Chow C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra; 1982e. Aplicações das radiações em biologia e medicina; p.55-70.

Okuno E, Caldas IL, Chow C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo: Harbra; 1982f. Efeitos biológicos das radiações; p.71-9.

Pakbiers MTW, Kemerink GJ. **Radiation exposure as a result of PET/CT**. In: Radiation Dosimetry in Medicine Nuclear State of the Art in 2007. Available from: <URL:[http://www.ncs-dos.org/download\\_publication2007.html](http://www.ncs-dos.org/download_publication2007.html)> [2010 mar. 01].

Pant GS, Senthamizhchelvan S. Radiation exposure to staff in a PET/CT facility. **Ind J Nucl Med** 2006; 21:100-3.

Roberts FO, Gaunawardana DH, Pathmaraj K, et al. Radiation dose to pet technologists and strategies to lower occupational exposure. **J Nucl Med Technol** 2005; 33:44-7.

Robilotta CC. A tomografia por emissão de pósitrons: uma nova modalidade na medicina nuclear brasileira. **Rev Panam Salud Publica** 2006; 20:134-42.

Rogero JR, Okazaki K, Nascimento N. **Efeitos biológicos da radiação**. IPN00020 [aulas 01-10]. Available from: <URL:<http://www.ipen.br/sitio/ensino-graduação-material-de-aula>> [2008 set 26].

[IAEA] International Atomic Energy Agency. **Safety reports series nº 58. Radiation protection in newer medical imaging techniques: PET/CT.** 2008. Available from: <URL:[http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/pub1343\\_web.pdf](http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/pub1343_web.pdf) [2009 set 29]

Seierstad T, Stranden E, Bjerding K, et al. Doses to nuclear technicians in a dedicated PET/CT centre utilising 18F fluorodeoxyglucose (FDG). **Radiat Prot Dosimetry** 2007; 123:246-9.

Soares JACR. **Princípios básicos de física em radiodiagnóstico.** Rio de Janeiro: Colégio Brasileiro de Radiologia. 2002a. Princípios de física das radiações; p.12-25.

Soares JACR. **Princípios básicos de física em radiodiagnóstico.** Rio de Janeiro: Colégio Brasileiro de Radiologia. 2002b. Princípios de radioproteção; p.27-37.

Tandon P, Venkatesh M, Bhatt BC. extremity dosimetry for radiation workers handling unsealed radionuclides in nuclear medicine departments in India. **Health Phys** 2007; 92:112-8.

Tauhata L, Salati IPA, Prinzio R, Prinzio AR. **Fundamentos de radioproteção de dosimetria.** Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro: IRD/CNEN. 5ª rev. 2003. Disponível em: <URL:[http://www.ird.gov.br/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=8&Itemid=53](http://www.ird.gov.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=8&Itemid=53)> [2008 set 26].

Thrall JH, Ziessman HA. **Medicina nuclear.** 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara/Koogan; 2003a. Princípios básicos; p.3-15.

Thrall JH, Ziessman HA. **Medicina nuclear**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara/Koogan; 2003b. Detecção da radiação e instrumentação; p.17-33.

Towson JEC. Radiation dosimetry and protection PET. In: Valk PE, Bailey DL, Townsend DW, Maisey MN, editores. **Positron emission tomography: basic science and clinical practice**. London: Springer-Verlag; 2003. p.265-79.

Xavier AM, Lima AG, Vigna CRM, et al. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Quim Nova** 2007; 30:83-91.

Wallace A, U Paul, Hickson K, Bradley J, Welch J, Pathmaraj K. **A real-time monitoring study of the personal dose received by nuclear medicine technologists administering  $^{18}\text{F}$ -FDG in a high patient throughput PET centre**. In: Proceedings of the Twelfth International Conference of the IRPA, 19-24 October 2008. Available from: <URL:<http://www.irpa12.org.ar/fullpapers/FP2280.pdf>>[2010 mar 01]

Zeff BW, Yester MV. Patient self-attenuation and technologist dose in positron emission tomography. **Med Phys** 2005; 2:861-5.

**Anexo 1** - Planilha de coleta de dados: isótopo x atividade manipulada x nº de pacientes x IOE

[illegible]

**Anexo 2** - Planilha de coleta de dados: Doses de exposição - mensal x anual.

[illegible][illegible]

**Anexo 3** - Modelo do livro de registro de pacientes do laboratório de radioisótopos do Setor de Medicina Nuclear do Departamento de Diagnóstico por Imagem do Hospital A.C. Camargo.

|                                         |    |                                 |            |                              |
|-----------------------------------------|----|---------------------------------|------------|------------------------------|
|                                         |    | 14.07.2008                      |            |                              |
|                                         |    | Grandes (1)                     | 1400       | Tc                           |
|                                         |    | Grandes (2)                     | 966        | Tc                           |
|                                         |    | Gr. Gália - dose total          | 18,3       | mCi                          |
| 1. Número de pacientes atendidos no dia | 01 | Apresenta H.S.G. GEB            | 31,8       | mAP                          |
|                                         | 02 | Antônio Alberto Klonek          | 11,4       | Tc                           |
|                                         | 03 | João P. Pimentel                | 29,6       | mAP                          |
|                                         | 04 | Helanda Bianca Paesador         | 147 + 162  | mTAT                         |
|                                         | 05 | Tamara Regina S. Gomes          | 30,8       | mAP                          |
|                                         | 06 | Reniz Cury Paiz                 | 32,2       | Gr. Gália                    |
|                                         | 07 | Acirlando Vitorino Ribeiro      | 139 + 42,4 | mTAT                         |
|                                         | 08 | Fernando de Fátima Chaves       | 390        | Gr. Gália                    |
|                                         | 09 | Regina de Jesus                 | 32,1       | mAP                          |
|                                         | 10 | Ag. A. Pardini                  | 30,8       | mAP                          |
|                                         | 11 | Charlaine de Souza Pica         | 390        | Gr. Gália                    |
|                                         | 12 | Antônia Nascimento              | 139 + 162  | mTAT                         |
|                                         | 13 | Faustina Fraziane de Almeida    | 141 + 12,2 | mTAT                         |
|                                         | 14 | Encheto Léo                     | 132 + 132  | mTAT                         |
|                                         | 15 | Luís Roberto Regazzi            | 32,0       | mAP                          |
|                                         | 16 | Edson de Araújo                 | 11,3       | Tc                           |
|                                         | 17 | Isabel Fraziane de Almeida      | 132 + 132  | mTAT                         |
|                                         | 18 | Isabel Fraziane de Almeida      | 132 + 132  | mTAT                         |
|                                         | 19 | Simone Pires Gomes              | 33,7       | mTAT                         |
|                                         | 20 | Dr. José S. D. Ruggi            | 0,10       | Deferido                     |
|                                         | 21 | Dr. José S. D. Ruggi            | 0,70       | Gr. Gália                    |
|                                         | 22 | Paulo Roberto de Almeida        | 32,8       | mAP                          |
|                                         | 23 | João Francisco Filho            | 30,0       | mAP                          |
|                                         | 24 | Bianca Santa Pardini            | 0,90       | Gr. Gália                    |
|                                         | 25 | Francisca de Jesus S. L. Santos | 32,8       | mAP                          |
|                                         | 26 | Shirley Gantetta Repasador      | 2,93       | Gr. Gália                    |
|                                         | 27 | Frederico Sousa da Silva        | 2,15       | Gr. Gália                    |
| 2. Nome completo dos pacientes          |    |                                 |            |                              |
|                                         |    |                                 |            | 3. Radioisótopo administrado |

#### 4. Atividade da dose administrada

|    |                            |      |        |
|----|----------------------------|------|--------|
| 28 | Oswaldo Banca              | 29,0 | mdp    |
| 29 | Manisa Albanese Innocencis | 0,50 | Sucl   |
| 30 | Regina Meneses Bezerra     | 1,8  | Dextam |

$$^{99m}\text{Tc} = 786,91 \text{ mCi} \Rightarrow 29115,67 \text{ mBq}$$

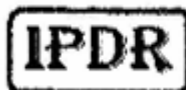
$$^{67}\text{Ga} = 14,4 \text{ mCi} \Rightarrow 532,8 \text{ mBq}$$

#### 5. Balanço diário da atividade de cada radioisótopo manipulado

|    |                                   |               |                   |
|----|-----------------------------------|---------------|-------------------|
|    | Grupos (D)                        | 1051          | Tc                |
|    | $^{99m}\text{Tc}$ - dose total    | 1019,10371670 | mCi               |
|    | $^{131}\text{I}$ - dose total     | 264           | mCi               |
|    | $^{111}\text{In}$ - dose total    | 4,33 + 4,46   | mCi               |
| 01 | Nilo Borges Graziela Lelco        | 1033          | $^{99m}\text{Tc}$ |
| 02 | Paulo Alves da Silva              | 962           | Tc                |
| 03 | Selange Martins                   | 304           | mdp               |
| 04 | Breriloto Lima de Queiroz         | 207           | $^{99m}\text{Tc}$ |
| 05 | Elisabete Elvira Tanella          | 310           | mdp               |
| 06 | Olga Saad                         | 282           | $^{131}\text{I}$  |
| 07 | Derlis Freire                     | 140           | $^{99m}\text{Tc}$ |
| 08 | Marcelina Kimia S. Ligeira        | 9,7           | $^{99m}\text{Tc}$ |
| 09 | Mariz Aquino Silva                | 22            | Dextam            |
| 10 | Marcel Conceição Batista          | 98            | Dmsa              |
| 11 | Mariz Conceição Abdala Cunha      | 29,0          | mdp               |
| 12 | Sueli Ap. M. Passarelli           | 5,0           | $^{111}\text{In}$ |
| 13 | Mica Mures Catuta                 | 2,3           | Dextam            |
| 14 | Santa Sales F. Caputo Costa Silva | 5,29          | $^{111}\text{In}$ |
| 15 | Peter Constantinides              | 15,98         | $^{99m}\text{Tc}$ |
| 16 | Mariz José Hogueira               | 29,8          | mdp               |
| 17 | Claudine Amado Sorvella           | 17,2          | $^{99m}\text{Tc}$ |
| 18 | Martha Cesar Cavalcanti           | 29,3          | mdp               |

**Anexo 4** - Modelo do relatório da leitura dos dosímetros de tórax e punho fornecidos mensalmente pelo IPDR.

Modelo do relatório de leitura dos dosímetros de tórax e punho fornecidos mensalmente pelo IPDR



**Instituto Paulista de Dosimetria  
das Radiações Ltda.**

Prostação de Serviço de Dosimetria  
Levantamento Radiométrico  
Teste de Radiação de Fuga

PJAVERGUEIRO, 2503 - CEP. 04101-200 - V. MARIANA - SÃO PAULO - SP - TEL.: (11) 5375-1426 - FAX: (11) 5373-7727 - INT@NET.int@nucleo.ipdr.com.br  
DATA RECEBIMENTO: 03/12/2005

**RELATÓRIO DE DOSES ( DOSÍMETROS TLD-TÓRAX )**

INSTITUIÇÃO: FUNDO ANTONIO PRUDENTE - HOSP A C CAMARGO - MEDICINA NUCLEAR

END.: RUA PROFESSOR ANTONIO PRUDENTE 211 - CEP.: 01509-010 - SÃO PAULO - SP

DE GRAX: 000.851/67-02-9 CTEL: 05/00633 RELATÓRIO Nº: 01787005 EMISSÃO: 03/12/2005

**PERÍODO DE USO DOS DOSÍMETROS : OUTUBRO/2005**

| NOME DO USUÁRIO                        | EMPRESA/INSTITUIÇÃO | DT. DE USO | DOSE MENSAL | DOSE ANUAL | DOSE TOTAL |
|----------------------------------------|---------------------|------------|-------------|------------|------------|
| FABRICA DE REFERENCIA MEDICINA NUCLEAR |                     | 07/11/2005 | NR          |            |            |
|                                        |                     | 07/11/2005 | 0,32        | 1,13       |            |
|                                        |                     | 10/10/2005 | NR          | 0,20       |            |
| INDIVIDUO A                            |                     | 07/11/2005 | 1,19        | 1,19       |            |
| INDIVIDUO G                            |                     | 07/11/2005 | 0,24        | 1,02       |            |
|                                        |                     | 07/11/2005 | NR          | 1,16       |            |
| INDIVIDUO B                            |                     | 07/11/2005 | 0,02        | 0,64       |            |
|                                        |                     | 07/11/2005 | NR          | 0,40       |            |
| INDIVIDUO C                            |                     | 07/11/2005 | 0,72        | 3,78       |            |
|                                        |                     | 07/11/2005 | NR          | NR         |            |
|                                        |                     | 07/11/2005 | 0,32        | 4,54       |            |
| INDIVIDUO D                            |                     | 07/11/2005 | 0,93        | 14,92      |            |
| INDIVIDUO E                            |                     | 07/11/2005 | 0,98        | 6,98       | NU         |
| INDIVIDUO F                            |                     | 07/11/2005 | 0,63        | 8,63       | NU         |

**CONSIDERAÇÕES E LEGENDA :**

A grandeza dosimétrica avaliada é a Dose Individual (DI) em sua unidade e o assessorio (ABR).  
O campo DOSE ANUAL corresponde ao valor acumulado das doses dos últimos doze meses a partir do período de uso.

INT. PTA. DE DOSIMETRIA DAS RADIAÇÕES LTDA.

**Responsável Técnico**



Instituto Paulista de Dosimetria  
das Radiações Ltda.

Prestação de Serviço de Dosimetria  
Levantamento Radiométrico  
Teste de Radiação de Fuga

RUA VERGUEIRO, 2502 - CEP. 04131-200 - V. MARANA - SÃO PAULO - SP - TEL: (11) 5575-1426 - FAX: (11) 5573-4727 - E-MAIL: NET@ipdr.com.br  
CNPJ: 06.056.874/000172

NUC-148/00010246851 - 5

### RELATÓRIO DE DOSES ( DOSÍMETROS TLD-PULSEIRA )

INSTITUIÇÃO: FUND. ANTONIO PRUDENTE - HOSP. A. C. CAMARGO - MEDICINA NUCLEAR

END.: RUA PROFESSOR ANTONIO PRUDENTE 211 - CEP.: 01509-010 - SÃO PAULO - SP

PA CEN: 000.851/67-02-9 CTRL: 05/00633 RELATÓRIO Nº: 01789885 DATA: 03/12/2005

### PERÍODO DE USO DOS DOSÍMETROS : OUTUBRO/2005

| NOME DO USUÁRIO                         | ORGANIZAÇÃO | DT. INÍCIO | DOSE MENSAL | DOSE ANUAL | DOSE/MENSAL |
|-----------------------------------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| PACIENTE DE REFERÊNCIA MEDICINA NUCLEAR |             | 07/11/2005 | PN          |            |             |
| INDIVÍDUO A                             |             | 07/11/2005 | 6,98        | 6,98       |             |
| INDIVÍDUO B                             |             | 07/11/2005 | 0,98        | 9,87       |             |
| INDIVÍDUO C                             |             | 07/11/2005 | 3,68        | 3,68       |             |
| INDIVÍDUO D                             |             | 07/11/2005 | 6,43        | 64,79      |             |
| INDIVÍDUO E                             |             |            |             | 13,25      | NU          |
| INDIVÍDUO F                             |             |            |             | 33,07      | NU          |

#### OBSERVAÇÕES E LEGENDAS :

A grandeza dosimétrica avaliada é a Dose Individual (  $I_n$  ) e sua unidade é o milisievert ( mSv ).  
O valor DOSE ANUAL corresponde ao valor acumulado das doses dos últimos doze meses a partir do período de uso.  
O Limite Anual de Dose Efetiva é 50mSv e o valor da Dose Efetiva Anual, em qualquer período de cinco anos consecutivos, não deve exceder 20mSv.  
A Dose equivalente anual não deve exceder 50mSv para extremidades e 150mSv para o cristalino.  
Para Estagiários com idade entre 16 e 18 anos e para Puérperas Grávidas existem limites especiais diferenciados.

NA - DOSE MONITORADA NO NÍVEL DE REGISTRO ( ESTABELECIDO NA CEN EM 0,20mSv POR MES ).  
NU - DOSÍMETRO NÃO UTILIZADO  
PA - DOSÍMETRO PADRÃO DE REFERÊNCIA NORMAL

INST. PAULISTA DE DOSIMETRIA DAS RADIAÇÕES LTDA.

Cláudio Manoel Cardenete  
Responsável Técnico