

# MÉTODO DE MONTE CARLO: ESTUDO DE CASO PARA SUBSÍDIO EM MEDICINA NUCLEAR

Edmir Ximenes, Dr.; Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Comunicação Científica

**Resumo.** *Este trabalho trata do conceito de manequins matemáticos – também denominados phantoms – usados em dosimetria interna e em proteção radiológica, sob a perspectiva de simulações computacionais. Para isso, utilizou-se o formalismo do método de Monte Carlo, através da modelagem de sistemas. Tanto em Medicina Nuclear como em outras aplicações científicas as ferramentas para cálculos dosimétricos são de suma importância para atender aos princípios básicos de proteção radiológica. Neste trabalho desenvolveu-se o manequim matemático da mulher brasileira para obtenção das Frações Absorvidas Específicas (FAEs) nos órgãos do corpo e no esqueleto, para fornecer subsídios à diagnose ou à terapia em Medicina Nuclear. O manequim ora desenvolvido é similar, na forma, ao manequim de Snyder [1] tornando-o mais realístico para as condições antropomórficas da mulher brasileira. Como contribuição aos objetivos deste trabalho, foi desenvolvido o sistema computacional **cFAE – consulta Fração Absorvida Específica**, que é uma ferramenta de apoio aos profissionais que lidam com proteção radiológica e (ou) Medicina Nuclear.*

**PALAVRAS CHAVES:** *Método de Monte Carlo; Medicina Nuclear.*

## 1. Introdução

Muitos cientistas e pesquisadores têm manifestado preocupação a respeito de prós e contras em relação ao uso da radiação e dos seus efeitos no corpo humano. Muitos trabalhos foram desenvolvidos para fornecer subsídios quanto à aplicação, à proteção e à padronização da radiação. Dentre esses, podem ser citados aqueles que procuram dimensionar o corpo humano, por meio de formas matematicamente definíveis, com o intuito de prestar auxílio, por exemplo, aos pesquisadores que trabalham com dosimetria e proteção radiológica. Um desses estudos foi desenvolvido pela equipe de Snyder [1] que utilizou como modelo o *Homem Referência*, da publicação 23 da *ICRP–International Commission on Radiological Protection* [2].

Pelo fato de que o homem referência fora calculado para americanos, canadenses e ingleses, populações da raça caucasiana em sua maioria, cujos dados antropométricos divergem dos da população brasileira, foi desenvolvido, em 1995, o *Manequim Matemático do Homem Brasileiro para Cálculos de Dosimetria Interna* [3]. Nesse trabalho, ficaram demonstradas certas especificidades em alguns órgãos do manequim brasileiro que, por estar em um manequim de compleição física menor que a do homem referência, tinha as Frações Absorvidas Específicas bem maiores, o que é de grande interesse para tratamentos e diagnósticos que se utilizam das radiações ionizantes, sejam na Medicina Nuclear, no radiodiagnóstico e na radioterapia, bem como, para os trabalhadores cujas atividades envolvam radiações e que a elas estão expostos em seu cotidiano.

O modelo de Snyder é hermafrodito, uma vez que, junto aos órgãos de reprodução masculino, estão também os órgãos de reprodução feminino, o que

acarreta alguns problemas para o tamanho dos órgãos que se localizam no abdome. O modelo brasileiro foi desenvolvido somente para o homem brasileiro, sem a representação dos órgãos de reprodução femininos. Enquanto que, pelo ICRP-23, o manequim tem a altura de 170 cm e 70 kg, o modelo de Snyder é baseado em um homem de 174 cm e massa de 70 kg. O homem referência brasileiro apresenta como valores médios 62 kg de massa e 168 cm de altura ao passo que a mulher brasileira apresenta constituição física distinta, tanto em relação às dimensões acima apresentadas pelo manequim americano como em relação às do homem brasileiro.

Assim, dentre as diversas motivações que deram origem a este trabalho, destaca-se a necessidade de se dispor de um *manequim feminino brasileiro*, que forneça estimativas confiáveis das Frações Absorvidas Específicas para as profissionais da área da saúde que lidam com cálculos de dosimetria interna.

## **2. Objetivo**

O objetivo do trabalho foi, utilizando-se do Método de Monte Carlo, elaborar a modelagem de um manequim matemático da mulher brasileira, para ser usado em dosimetria interna e na determinação das doses equivalentes nos seus órgãos internos e nos ossos do esqueleto. Compararam-se as Frações Absorvidas Específicas ao modelo referência, para obtenção de uma aproximação mais realista entre as doses absorvidas por mulheres brasileiras, ao se apresentarem para diagnóstico e (ou) terapia com radiação ionizante, assim como, para as trabalhadoras da área que lidam com tal radiação.

## **3. Métodos**

Para alcançar os objetivos propostos, realizaram-se diversas pesquisas sobre os estudos existentes a respeito dos modelos matemáticos do corpo de um ser humano, com especial atenção para o manequim matemático do homem brasileiro.

Na mensuração antropométrica da mulher brasileira, os valores médios de massa e altura foram obtidos por meio das pesquisas elaboradas pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [4, 5] enquanto que, para se determinarem massas, formas e dimensões de órgãos e ossos de seu esqueleto, obteve-se o concurso do Departamento de Patologia da Faculdade de Medicina da USP, por consulta aos dados das autópsias registradas nos bancos de dados e em livros de registros desse departamento. Quanto ao volume médio das mamas da mulher, brasileira, entre 20 e 40 anos, recorreu-se a pesquisas no Departamento de Mastologia do Hospital do Câncer A. C. Camargo, em São Paulo.

De posse dos dados antropométricos da mulher brasileira, esses resultados foram comparados com dados representados pelo modelo de Snyder [1] e pelo modelo de Guimarães [6].

### **3.1. Mensuração antropométrica da mulher brasileira**

Baseada nas pesquisas do IBGE [4,5] foram calculadas, pela média ponderada, a altura e massa da mulher brasileira. Os dados encontrados foram: Altura:  $162,0 \pm 2,8\text{cm}$  e Massa:  $58,2 \pm 0,8\text{kg}$ .

Para determinar massas, formas e dimensões dos órgãos que compõem o Manequim Matemático da Mulher Brasileira, foram pesquisados os bancos de dados do *Departamento de Patologia* da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo - FMUSP. A pesquisa foi feita com os recursos do *Sistema de Patologia Autópsia e Biópsia*, um código de computação do Departamento de Patologia da FMUSP, onde estão cadastrados os *Anuários do Instituto Médico Legal* desde o ano de 1999.

Para este trabalho, filtrou-se o sistema, selecionando apenas indivíduos do sexo feminino com idade entre 20 e 40 anos, quando de seu óbito. Esse levantamento foi desenvolvido de modo que cada órgão lesado na morte não era levado em consideração, bem como, se o mesmo não fora prejudicado pela *causa mortis*. Na Fig. 1 são apresentadas as dimensões dos modelos de Snyder, do homem brasileiro e da mulher brasileira. Na Tabela I encontram-se as comparações entre as massas nos modelos de Snyder, do Homem Referência Brasileiro e da Mulher Referência Brasileira.

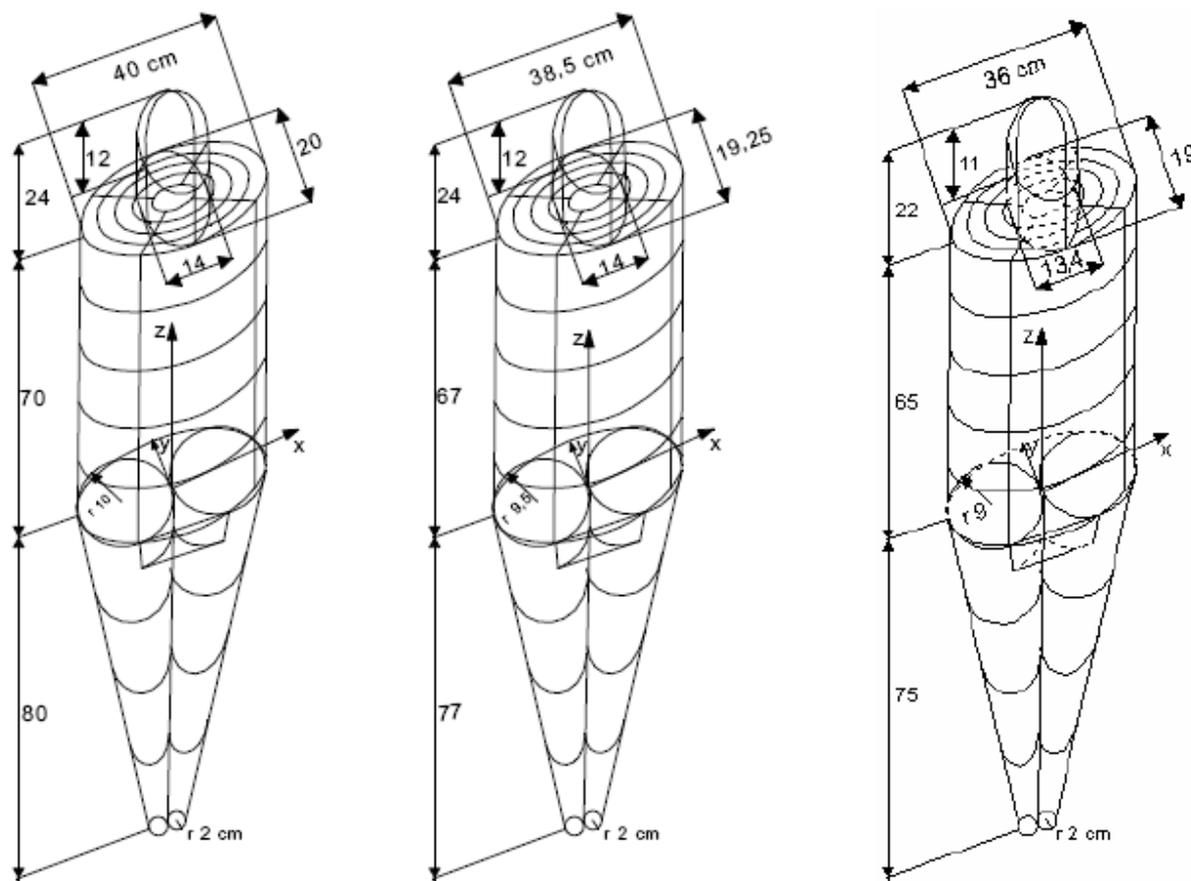


FIG. 1. Dimensões dos modelos-referências de Snyder, do homem brasileiro e da mulher brasileira, respectivamente da esquerda para a direita.

### 3.2. Formas, regiões, sub-regiões e tecidos dos manequins

Os manequins têm a forma aproximada do corpo humano, e é representado ereto com o eixo (z), positivo, direcionado para a cabeça; o eixo (x), positivo, é

direcionado para a esquerda do manequim; o eixo (y), positivo, é direcionado para a parte posterior do manequim (Fig. 1). A origem dos eixos é tomada na base do tronco, onde há a bifurcação das pernas, e os eixos são apresentados em *cm*. Os manequins são ainda subdivididos em sub-regiões definidas por formas geométricas. A região do tronco é formada por seis planos, as pernas são subdivididas dentro de quatro regiões delimitadas por quatro planos e a cabeça é dividida em oito repartições.

Os manequins são divididos em 97 sub-regiões, nas quais foram determinadas as frações absorvidas. Dessas regiões, 85 estão no tronco, oito na cabeça e quatro nas pernas.

Como se pode ver na Fig. 1, o tronco apresenta cinco camadas divididas em cinco cilindros elípticos concêntricos e quatro planos verticais. Na Fig. 2, aparece a secção do tronco em diversos planos perpendiculares ao eixo z e, para fins de comparações, a secção do tronco em cadáver do manequim coreano.

Os manequins são compostos de três tipos de tecidos, a saber: o *tecido mole*, o *esqueleto* e os *pulmões* e apresentam em sua composição elementos, tais como: Hidrogênio, Carbono, Nitrogênio e Oxigênio. O tecido do esqueleto apresenta mais elementos, como Cálcio e Fósforo [1]. Para a modelagem da referência feminina brasileira, adotou-se a mesma metodologia.

Tabela I. Comparação entre as massas médias dos órgãos dos manequins (unidades em gramas).

| Órgão      | Snyder |           | Homem Brasileiro |           | Mulher Brasileira |           |
|------------|--------|-----------|------------------|-----------|-------------------|-----------|
|            | Parede | Conteúdo  | Parede           | Conteúdo  | Parede            | Conteúdo  |
| Adrenais   |        | 15,50g    |                  | 13,76g    |                   | 12,83g    |
| Baço       |        | 173,60g   |                  | 155,85g   |                   | 143,74g   |
| Bexiga     | Parede | Conteúdo  | Parede           | Conteúdo  | Parede            | Conteúdo  |
|            | 45,13g | 200,00g   | 37,83g           | 167,10g   | 37,36g            | 165,54g   |
| Fígado     |        | 1.809,00g |                  | 1.602,40g |                   | 1.497,84g |
| Mamas      |        | —         |                  | —         |                   | 345,28g   |
| Ovários    |        | 8,27g     |                  | —         |                   | 6,84g     |
| Pâncreas   |        | 60,27g    |                  | 75,46g    |                   | 49,90g    |
| Pulmões    |        | 999,20g   |                  | 885,03g   |                   | 832,22g   |
| Rins       |        | 284,20g   |                  | 251,72g   |                   | 235,29g   |
| Testículos |        | 37,08g    |                  | 31,20g    |                   | —         |
| Timo       |        | 24,80g    |                  | 21,95g    |                   | 20,53g    |
|            |        | 19,63g    |                  | 17,00g    |                   | 16,25g    |

|                               |               |                 |               |                 |               |                 |
|-------------------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
| Tireóide                      |               |                 |               |                 |               |                 |
| Útero                         |               | 65,40g          |               | —               |               | 54,14g          |
| <b>Trato Gastrointestinal</b> |               |                 |               |                 |               |                 |
| <i>Aparelho Digestivo:</i>    | <i>Parede</i> | <i>Conteúdo</i> | <i>Parede</i> | <i>Conteúdo</i> | <i>Parede</i> | <i>Conteúdo</i> |
| Estômago                      | 150,00g       | 246,90g         | 126,22g       | 207,90g         | 124,16g       | 204,39g         |
| Intestino Grosso Inferior     | 160,10g       | 136,80g         | 141,79g       | 121,00g         | 131,98g       | 114,42g         |
| Intestino Grosso Superior     | 209,20g       | 220,00g         | 184,48g       | 193,87g         | 173,65g       | 174,34g         |
| Intestino Delgado + Conteúdo  |               | 1.044,00g       |               | 921,21g         |               | 864,50g         |

**Esqueleto / Medulas / Pele / Tecidos**

|                             |  |            |  |            |  |            |
|-----------------------------|--|------------|--|------------|--|------------|
| Esqueleto                   |  | 10.474,08g |  | 9.200,04g  |  | 8.088,16g  |
| Medula Amarela              |  | 1.500,00g  |  | 1.329,00g  |  | 1.158,31g  |
| Medula Vermelha             |  | 1.500,00g  |  | 1.329,00g  |  | 1.158,31g  |
| Pele (sem a Pele das Mamas) |  | 2.791,17g  |  | 2.380,60g  |  | 2.540,66g  |
| Pele (com a Pele das Mamas) |  | —          |  | —          |  | 2.562,45g  |
| Tecidos Totais (sem Mamas)  |  | 48.480,00g |  | 40.579,80g |  | 40.136,63g |
| Tecidos Totais (com Mamas)  |  | —          |  | —          |  | 40.481,91g |
| Corpo Total                 |  | 69.880,00g |  | 61.893,74g |  | 58.200,23g |

### 3.3. A Referência Brasileira Feminina

O biótipo da mulher brasileira, tomando por base as variáveis biométricas de Snyder [1]; Cristy [7]; Cristy & Ekerman [8] e Guimarães [3] serviram de subsídios para a especificação da seção dos ossos das pernas (sistema do esqueleto) e dos órgãos internos do *Manequim Matemático da Mulher Brasileira*. Esses valores

são utilizados para definição das regiões da cabeça, do tronco, das mamas e das pernas (estrutura externa).

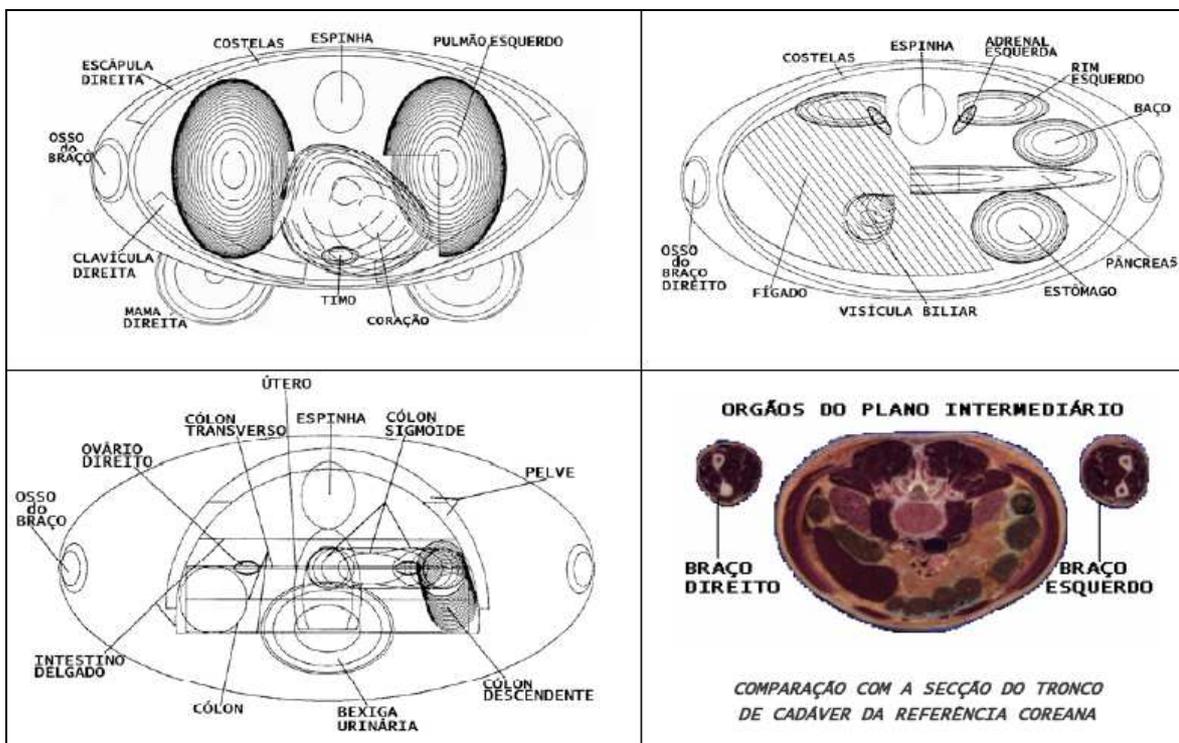


FIG.2. Secção do tronco em planos perpendiculares ao eixo z e a secção do manequim coreano: Parte superior esquerda: corte no plano superior do tronco; parte superior direita: corte no plano intermediário do tronco; parte inferior esquerda: corte no plano inferior do tronco [7]; parte inferior direita, para fins de comparações: plano de secção do tronco de cadáver da referência coreana [9].

### 3.4. O Método de Monte Carlo

O Método Monte Carlo é um processo de *física-estatística-computacional* que se presta a solucionar problemas matemáticos, físicos e de outras disciplinas, por meio de um conjunto de processos de análise numérica, utilizando-se de uma amostragem estatística. Seu uso generalizou-se logo após o aparecimento do computador digital, muito embora sua base teórica já fosse conhecida há bastante tempo. Historicamente, foi o primeiro sistema usado com sucesso para resolução de problemas de transporte de partículas. Atualmente, o enorme poder de processamento, aliado às grandes memórias dos computadores, tem reduzido problemas difíceis de Matemática a simples problemas de Estatística, graças a sua utilização [10,11,12,13,14,15].

O Método de Monte Carlo foi usado neste trabalho para previsão estatística da transferência de energia por interação pelos caminhos seguidos pela radiação e forneceu subsídios para a compreensão do programa (ou código computacional) ALGAM-97 [16], para a obtenção das Frações Absorvidas Específicas e para a elaboração do sistema informatizado.

O nome ALGAM-97 é um acrônimo de *Monte Carlo Estimation of Internal Dose from Gamma-Ray Sources in a Phantom Man*, onde o número 97 refere-se às 97

regiões alvos/fontes do manequim matemático. O principal objetivo do programa é estimar a fração absorvida nos órgãos e regiões do manequim matemático, quando fótons de energia conhecida são emitidos de uma região fonte. O programa fornece os resultados das frações absorvidas para fótons de 12 energias distintas e é composto basicamente de três conjuntos de sub-rotinas: o primeiro trata da fonte; o segundo, da geometria do meio; e o terceiro, do transporte do fóton, utilizando-se, para isso, do Método de Monte Carlo aplicado aos processos de interação dos fótons.

#### 4. Resultados

Com as consultas aos bancos de dados do Departamento de Patologia da FMUSP, obtiveram-se dados antropométricos da mulher brasileira. Os dados obtidos de massa e altura do corpo, bem como, a massa dos órgãos internos representam valores que são a média da população feminina brasileira na faixa de 20 a 40 anos de idade.

A densidade do tecido mole foi determinada pela razão entre a *massa total* e o *volume total* do tecido mole do corpo. A massa total do tecido mole foi obtida subtraindo-se da massa total do corpo a massa do esqueleto e dos pulmões; e o volume total, subtraindo-se do volume total do corpo o volume do esqueleto e dos pulmões. Os resultados das densidades foram: 1,40g/cm<sup>3</sup> para o esqueleto, 0,296g/cm<sup>3</sup> para os pulmões e 1,04g/cm<sup>3</sup> para o tecido mole.

A origem das coordenadas do sistema está centrada na base do tronco (Fig.1). O tronco, onde se incluem braços e quadris e se excluem as mamas, é representado geometricamente por um cilindro elíptico sólido especificado por:

$$\left(\frac{x}{18}\right)^2 + \left(\frac{y}{9,5}\right)^2 \leq 1 \quad \text{para} \quad 0 \leq z \leq 65 \quad (1)$$

As mamas são representadas por porções de dois elipsóides ligados ao tronco e geometricamente expressos por:

$$\left(\frac{x \pm 9,0}{4,35}\right)^2 + \left(\frac{y + 8,23}{4,05}\right)^2 + \left(\frac{z - 48,3}{3,77}\right)^2 \leq 1 \quad e \quad \left(\frac{x}{18}\right)^2 + \left(\frac{y}{9,5}\right)^2 > 1 \quad , \quad (2)$$

$$\text{onde} \quad y_0 = -9,5 \sqrt{1 - \left(\frac{9}{18}\right)^2} = -8,23$$

onde o valor positivo é referente à mama esquerda e o valor negativo refere-se à mama direita.

A seção da cabeça é um cilindro elíptico sólido acrescido de meio elipsóide. É especificada por:

$$\left(\frac{x}{6,7}\right)^2 + \left(\frac{y}{9,5}\right)^2 \leq 1 \quad \text{para} \quad 65 \leq z \leq 79,2$$

$$e \quad \left(\frac{x}{6,7}\right)^2 + \left(\frac{y}{9,5}\right)^2 + \left(\frac{z - 79,2}{7,8}\right)^2 \leq 1 \quad \text{para} \quad 79,2 \leq z \leq 87 \quad (3)$$

A região das pernas do manequim consiste de parte de dois cones circulares e são especificados pelas seguintes desigualdades:

$$x^2+y^2 \leq \pm x \left( 18 + \frac{z}{5,55} \right), \quad -75 \leq z \leq 0 \quad (4)$$

onde o sinal positivo e o sinal negativo referem-se à perna esquerda e à perna direita, respectivamente.

Todos os órgãos restantes ficam situados dentro destas regiões e suas FAEs foram calculadas através do programa ALGAM-97.

## 5. Considerações finais

### 5.1. O ICRP-23 e o ICRP-89

A utilização do ICRP-23 [2] ante o mais recente ICRP-89 [17] que foram publicados em 1974 e 2002, respectivamente, deu-se em virtude de, a *referência hermafrodita de Snyder*, bem como a referência do *homem brasileiro* estarem baseadas naquele relatório. Isso possibilita uma comparação mais apropriada desses dois modelos com o modelo da *mulher brasileira*, desenvolvida neste trabalho. Deixa-se, portanto, para futuros trabalhos explorações que venham dar maior refinamento, em conformidade com a Publicação 89 do ICRP, à modelagem computacional dos manequins da mulher brasileira e do homem brasileiro, em comparação com a referência de Snyder.

### 5.2. Limitações do ALGAM-97

O programa ALGAM-97 original não prevê as mamas em seu código computacional houve, então, a necessidade, para a comparação das Frações Absorvidas Específicas com a mulher referência, de tratamento duplo: “valores com as mamas” e “valores sem as mamas”. Nos casos da execução do programa para *Tecido Total* e *Pele Total*, a massa correspondente às mamas – com pele e sem pele – foi levada em conta. Essa limitação do código ALGAM-97 tornou necessária, para a obtenção das Frações Absorvidas Específicas com fonte uniformemente distribuída em ambas as mamas, a elaboração de uma nova rotina que as tratasse como fonte externa.

### 5.3. O sistema “cFAE–consulta Fração Absorvida Específica” integrado ao ALGAM-97

O código ALGAM-97 foi elaborado para ser executado em estações RISC-6000, que trabalham com o sistema operacional UNIX. Para dar maior flexibilidade e autonomia de pesquisa a este trabalho, houve necessidade da conversão desse programa, alterando-o para ser utilizado em computador pessoal, sob o sistema operacional Windows.

Para implementação do sistema **cFAE**, optou-se pela linguagem *Delphi*. As funções do sistema com suas respectivas interfaces são intuitivas e têm a aparência e o comportamento semelhantes às aplicações do Windows, o que permite ao usuário escolher comandos, inicializar rotinas e obter ajuda sobre tais,

apontando para ícones e para listas de itens de menu na tela. As escolhas podem ser ativadas com o teclado ou com o *mouse*.

Para avaliar se o sistema convertido atendia aos requisitos (validação do código), aplicou-se o denominado *Teste back-to-back* [18] ou seja, o mesmo teste é executado em versões diferentes e os resultados são comparados. Para isso, foi executado o programa com os dados dos modelos de Snyder e do Homem Brasileiro e verificou-se que os resultados obtidos eram os mesmos dos trabalhos originais.

## **6. Conclusão**

Pelas pesquisas empreendidas, que deram origem aos resultados acima expostos, verifica-se que os valores apresentados para a *Mulher Brasileira* são mais confiáveis que aqueles modelos similares, pois possibilitaram a obtenção de aproximações mais realistas entre as doses absorvidas por mulheres brasileiras. E, indo um pouco mais além, é de se crer que essas frações poderão ter grande aplicação, não somente em Medicina Nuclear, mas também, diante dos princípios básicos de proteção radiológica para as trabalhadoras brasileiras que atuam com radiação ionizante.

## REFERÊNCIAS

- [1] SNYDER, W.S.; FORD, M.R.; WARNER, G.G.; WATSON, S.B., In: A tabulation of dose equivalent per micro-curie-day for source and target organs of an adult for various radionuclides. Oak Ridge, TN, Oak Ridge National Laboratories, (ORNL-5000), p.1-70, Nov.1974.
- [2] ICRP. Report of the task group on Reference Man. International Commission on Radiological Protection; Oxford Pergamon Press, (ICRP pub. 23), p.1-289, 1974.
- [3] GUIMARÃES, M.I.C.C., Desenvolvimento do Manequim Matemático do Homem Brasileiro para Cálculos de Dosimetria Interna. 1995. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo.
- [4] IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Anuário Estatístico do Brasil, V.38, p.219-226, 1977.
- [5] IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Pesquisa de Orçamentos Familiares-POE 2002-2003; Análise da disponibilidade domiciliar de alimentos e do estado nutricional no Brasil; Rio de Janeiro, 2004.
- [6] GUIMARÃES, M.I.C.C.; TODO, A.S.; BUCHPIGUEL, C.A.; SORDI, G.M.A.A., Comparison of Specific Absorbed Fractions (SAF) in the Brazilian adult male and the reference man phantoms. Cellular and Molecular Biology 2002, 48(5): 475-485.
- [7] CRISTY, M., Mathematical phantoms representing children of various ages for use in estimates of internal dose. Oak Ridge, (Tennessee): Oak Ridge National Lab, 1980. (NUREG/CR-1159; ORNL/NUREG/TM-367).
- [8] CRISTY, M.; ECKERMAN, K. F., Specific absorbed fractions of energy at various ages from internal photon sources. I. Methods. Oak Ridge, (Tennessee): ORNL, 1987. (ORNL/TM-8381/V1).
- [9] LEE, C.; LEE J.K., Department of Nuclear Engineering, Hanyang University, Korea; PARK, J.S.; CHUNG M.S., Department of Anatomy, Ajou University, Korea; LEE C. Department of Nuclear and Radiological Engineering, University of Florida, USA. Reference Korean Human Models: Past, Present and Future. Consulta na Internet em 11/12/2005: <[www.virtualphantoms.org/meeting.htm](http://www.virtualphantoms.org/meeting.htm)>.
- [10] ALLEN, M.P.; TILDESLEY, D.J., Computer Simulation of Liquids. Claredon Press, Oxford, 1987.
- [11] BINDER, K., Monte-Carlo and Molecular Dynamics Simulation in Polymer Science. Oxford University Press, 1995.
- [12] CARTER, L.L.; ASHWELL E.D., Particle-Transport Simulation with Monte Carlo Method. Los Alamos Scientific, Technical Information Center Office of Public Affairs, 1975.
- [13] LUX, I.; KOBLINGER, L., Monte Carlo Particle Transport Methods: Neutron and Calculations. CRC Press Inc., Boston, 2000.
- [14] NEUMANN, J.; ULAM, S. Bull Am. Math.Soc.51, 660 (1945).

- [15] SÓBOL, I.M., Método de Montecarlo - Lecciones populares de matemáticas. Traducción al español por Carlos Vega. Moscou: Editora MIR, 1976.
- [16] WARNER, G.G.; GRAIG Jr, A.M.; ALGAM: A computer program for estimating internal dose from gamma ray sources in a man phantom. Oak Ridge, TN, Oak Ridge National Lab., June, 1968. (ORNL-TM-2250).
- [17] ICRP. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection. International Commission on Radiological Protection; (ICRP pub. 89). Annals of the ICRP 32: (3/4), 2002.
- [18] RIOS, E.; MOREIRA FILHO, T.R., Projeto & engenharia de software – Teste de Software. ed. Alta Books Ltda., Rio de Janeiro, 2003.