

DESENVOLVIMENTO DO FANTASMA MATEMÁTICO DE UMA CRIANÇA DE
10 ANOS DE IDADE PARA FINS DE DOSIMETRIA INTERNA

Sudernalque F. Deus, John W. Poston¹, Shiguelo Watanabe²

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
05499 - São Paulo - BRASIL

RESUMO

Os objetivos principais desta pesquisa são: 1) desenvolver o projeto de um fantasma matemático representando da maneira mais próxima possível uma criança de 10 anos de idade e 2) usar esse fantasma como a base dos cálculos das frações absorvidas específicas nos órgãos internos e no esqueleto devido aos radionuclídeos mais usados em medicina nuclear. O fantasma era similar, na forma, ao fantasma adulto de Fisher e Snyder porém, diversas mudanças foram feitas no projeto para torná-lo mais realístico. Essas mudanças incluíram a adição de um pescoço, colocação dos braços fora da região do tronco, modificação na forma do tronco e na forma da região da cabeça e dos órgãos genitais. Diversas modificações foram também introduzidas no esqueleto do fantasma. Por exemplo, os ossos da cabeça, caixa torácica, pelvis, coluna vertebral, escápulas, clavículas e os ossos dos braços e das pernas são representações próximas das formas anatómicas reais. Alguns órgãos internos como o cérebro, pulmões, fígado, intestino delgado e intestino grosso foram também modificados em consequência das modificações acima. Em todos esses casos, as mudanças foram feitas não só nas formas mas também nas posições dos órgãos e ossos de maneira tal que elas fossem mais representativas da criança de 10 anos de idade. Estimativas das frações absorvidas específicas (FAE) obtidas pelo uso deste fantasma, resultaram, como esperado, significativamente diferentes daquelas obtidas pelo uso de um modelo mais simples. Em outras palavras, as razões entre as FAE nos órgãos do fantasma desenvolvido neste trabalho e as FAE nos órgãos do fantasma similar ao adulto (obtido reduzindo-se o fantasma adulto pela aplicação de fatores apropriados), variaram entre 0,37 e 5. Essas diferenças e seus significados são também discutidas.

(1) Texas A and M University, College Station, TX 77843.

(2) Instituto de Física da Universidade de São Paulo, SP, Brasil.

I. INTRODUÇÃO

Neste estudo, a atenção foi concentrada na criança de 10 anos de idade, e, como é sabido, com o aumento do número de equipamentos nucleares de geração de energia, a estimativa da dose absorvida por este grupo da população se faz necessária. Muitas fontes de radiação (naturais, radiologia diagnóstica, precipitação radioativa, etc.) e algumas fontes potenciais como as causadas por espalhamento de material radioativo na atmosfera devido a acidente de reator são de grande importância quando se pensa em termos de exposição da população. Em particular, crianças, sendo mais sensíveis à radiação que o adulto, devem merecer uma atenção especial, pois, além das fontes acima citadas, são expostas a diversos procedimentos de medicina nuclear. Por isso, estimativa mais precisa da dose absorvida é necessária. Fisher e Snyder⁽¹⁵⁾ reconheceram esta necessidade e sugeriram o projeto de seis fantasmas para uso em cálculo de dose. Esses fantasmas correspondem ao recém nascido, crianças de 1, 5, 10 e 15 anos de idade e ao adulto. O primeiro fantasma desenvolvido foi o adulto (20 anos), e os fantasmas de idades inferiores a 20 anos eram obtidos reduzindo cada uma das três regiões do adulto (cabeça, tronco e pernas) por meio de fatores escolhidos e representativos de cada idade. Todos os órgãos, etc., dentro de cada região eram reduzidos pelo mesmo fator, e diferenças relativas entre os volumes, formas e posições eram ignoradas. As Figuras 1 e 2 mostram as formas externas do corpo desse fantasma e do seu esqueleto respectivamente.

A geometria fisiológica de uma criança é diferente da do adulto. Por exemplo, o peso da cabeça com respeito ao peso total do corpo é maior para a criança que para o adulto; o tronco da criança é mais circular que o do adulto, o qual é melhor representado por um cilindro elíptico; alguns órgãos internos, como a glândula timo, são, em relação aos outros órgãos, maior na criança que no adulto. Tais fatores podem levar a erros grosseiros nos cálculos das doses absorvidas pelas crianças.

Uma pesquisa bibliográfica foi feita para determinar as massas, formas e posições dos órgãos numa criança normal de 10 anos de idade. Esses dados foram usados na construção do fantasma matemático da criança, para obtenção computacional das doses absorvidas nas mais variadas

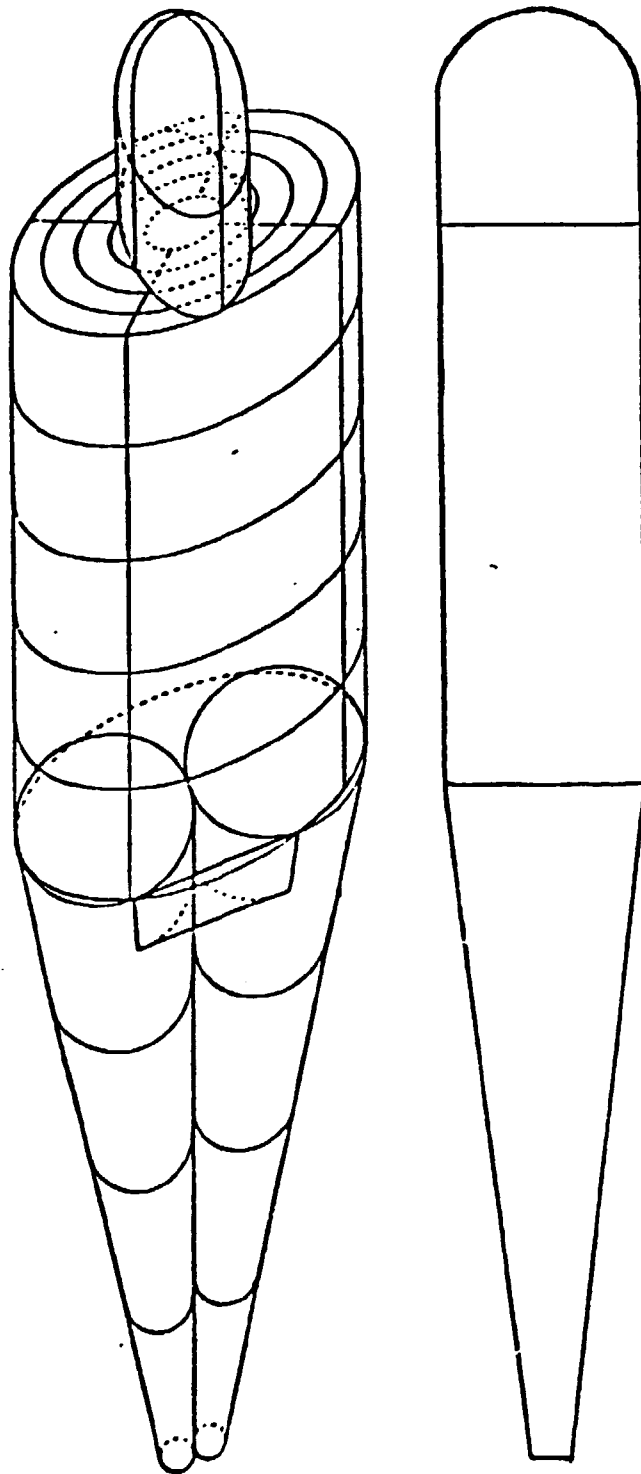


Figura 1 - Vista geral do fantasma adulto

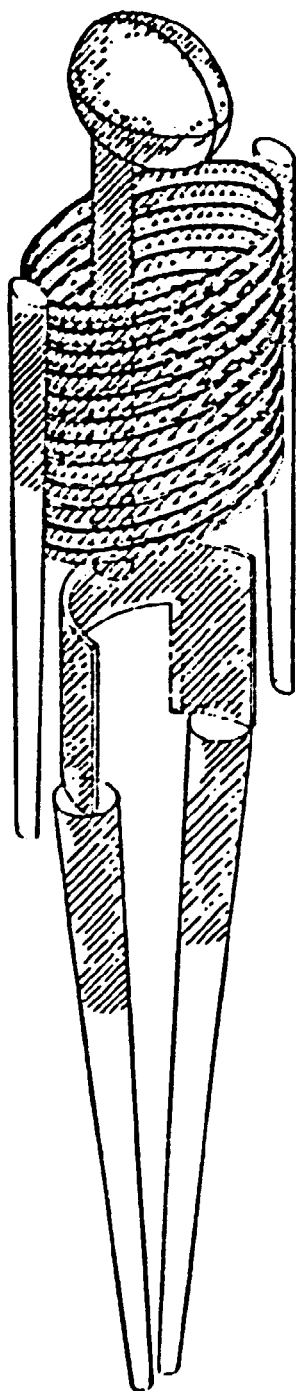


Figura 2 - Esqueleto do fantasma adulto.

condições de exposição.

Os objetivos desta pesquisa são os seguintes: 1) desenvolvimento de um fantasma que represente uma criança referência de 10 anos de idade ; 2) usar esse fantasma como base dos cálculos de dose absorvida devido aos radionuclídeos apontados pelo Comitê Científico 51-B, que relacionou os mais importantes radionuclídeos usados em medicina pediátrica e os principais órgãos afetados, e comparar os resultados com aqueles obtidos usando-se o modelo reduzido do adulto.

II. DETERMINAÇÃO DA ALTURA, MASSA, VOLUME E DENSIDADE DO CORPO DO FANTASMA

A variação na altura, massa, forma, etc. do corpo de uma criança é tão grande que se torna difícil definir uma criança referência que represente todos os tipos existentes. Os valores usados neste trabalho, e que são mostrados na Tabela 1, são médias de dados encontrados na literatura para crianças de 10 anos de idade.

TABELA 1 - MASSA, VOLUME, DENSIDADE, ALTURA DO CORPO E OS CORRESPONDENTES DESVIOS PERCENTUAIS.

	Valor médio encontrado na literatura	Valor final calculado	Desvio percentual
Massa do corpo (g)	32000(*)	32079	0,25
Volume do corpo (cm ³)	31176,9	31219,8	0,14
Densidade do corpo (g/cm ³)	1,0264(**)	1,0275	0,11
Altura do corpo (cm)	140(***)	140	0,00

(*) Referências: (1), (4), (21), (28), (31), (33), (35), (39), (46) e (50)

(**) Referências: (5)

(***) Referências: (1), (4), (21), (25), (28), (31) e (33)

O corpo do fantasma é composto, neste trabalho, de três diferentes tecidos: a) tecido mole, o qual, para simplificar os cálculos da dose absorvida e conseqüentemente para minimizar o tempo de computação, é constituído de todos os tecidos do corpo cujas densidades são aproximadamente igual a 1g/cm^3 ; b) esqueleto que, pelas mesmas razões, é composto de uma mistura homogênea de tecido cortical, trabecular, cartilaginoso, periarticular e medula óssea; c) pulmões que são compostos de um material cuja densidade é igual a $0,2958\text{g/cm}^3$ ⁽⁴²⁾. A composição elementar de cada um desses tecidos é dada na Tabela 2.

TABELA 2 - COMPOSIÇÃO ELEMENTAR DOS TECIDOS DO FANTASMA ⁽⁴²⁾ (% EM PESO)

Elemento	Esqueleto	Pulmão	Tecido mole (corpo todo menos esqueleto e pulmão)
H	7,04	10,21	10,47
C	22,79	10,01	23,02
N	3,87	2,80	2,34
O	48,56	75,96	63,21
Na	0,32	0,19	0,13
Hg	0,11	$7,4 \times 10^{-3}$	0,015
P	6,94	0,081	0,24
S	0,17	0,23	0,22
Cl	0,14	0,27	0,14
k	0,15	0,20	0,21
Ca	9,91	$7,0 \times 10^{-3}$	0
Fe	$8,0 \times 10^{-3}$	0,037	$6,3 \times 10^{-3}$
Zn	$4,8 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$3,2 \times 10^{-3}$
Rb	0	$3,7 \times 10^{-4}$	$5,7 \times 10^{-4}$
Sr	$3,2 \times 10^{-3}$	$5,9 \times 10^{-6}$	$3,4 \times 10^{-5}$
Zr	0	0	$8,0 \times 10^{-4}$
Pb	$1,1 \times 10^{-3}$	$4,1 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-5}$

Com os volumes e formas encontrados na literatura, os cálculos foram feitos a fim de se determinar as dimensões de cada região do corpo da criança referência de 10 anos de idade, ou sejam, da região da cabe

ça, do pescoço, do tronco, dos braços das pernas e dos órgãos genitais. Para se obter esses valores, vários ajustes tiveram que ser feitos por que os dados encontrados na literatura não se ajustavam bem quando se tentava derivar as dimensões de cada parte do corpo em relação às dimensões do corpo todo. Essa diferença é explicada pelo fato de que, apesar dos sólidos geométricos usados para representar cada região do corpo serem mais realísticos que no modelo do adulto, eles ainda são uma aproximação da forma real. Por exemplo, o tronco é representado por um cilindro elíptico cortado por planos e por uma superfície que acompanha a coluna vertebral (Vide Figuras 3 e 4), enquanto que a sua forma real possui, além dos cortes acima, uma curvatura lateral entre a crista ilíaca e os ombros. Portanto, os valores das dimensões lineares, tais como os diâmetros lateral e antero-posterior, são aproximados em relação aos diâmetros reais.

A relação entre os volumes de cada região do corpo e o volume total do corpo do fantasma foram determinadas usando os valores apresentados por Bardeen⁽¹⁾ e, em face dos arredondamentos dos parâmetros das equações que define cada região, as relações finais resultaram um pouco diferentes das originais, porém o desvio é desprezível como pode ser verificado na Tabela 3.

TABELA 3. RELAÇÃO ENTRE OS VOLUMES DE CADA REGIÃO DO CORPO E O VOLUME DO CORPO TODO DO FANTASMA

	Valores para o fantasma deste trabalho	Valores dados por Bardeen
Volume da cabeça Volume do corpo todo	0,113	0,117
Volume do tronco + pescoço Volume do corpo todo	0,524	0,515
Volume dos braços Volume do corpo todo	0,091	0,096
Volume das pernas Volume do corpo todo	0,272	0,275

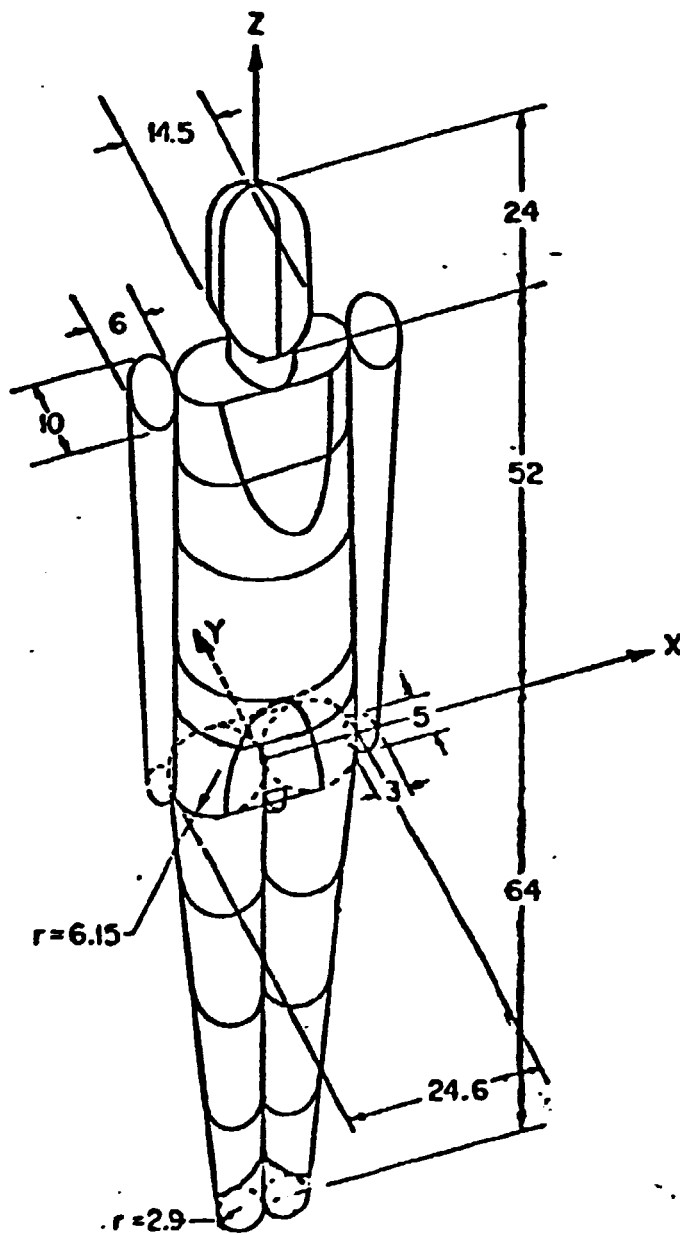


Figura 3 - Vista geral do fantasma da criança de 10 anos de idade (todas as medidas indicadas são em centímetro)

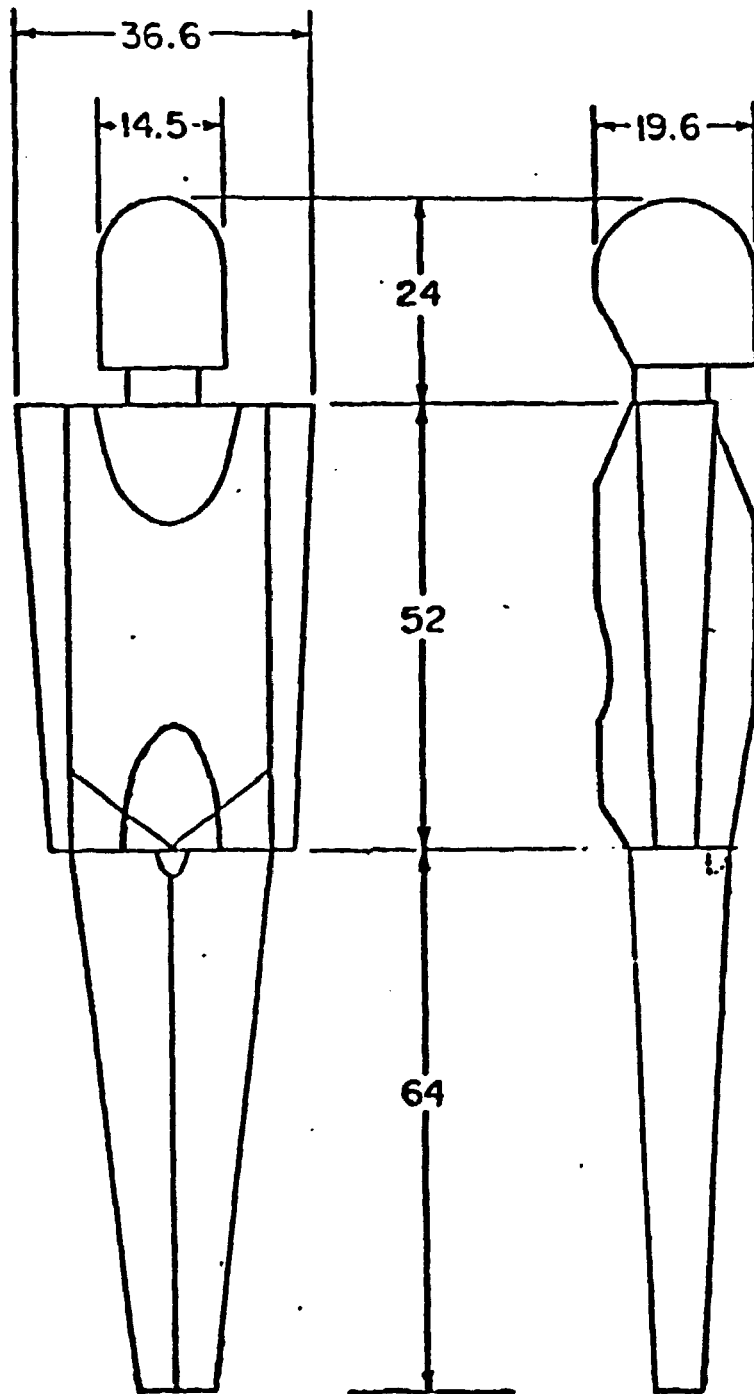


Figura 4 - Vista frontal e lateral do fantasma da criança de 10 anos de idade (todas as medidas indicadas são em centímetro)

III. DESCRIÇÃO MATEMÁTICA DE CADA REGIÃO DO CORPO DO FANTASMA

Após um exaustivo estudo das formas anatômicas de cada parte do corpo humano, procurou-se ajustar a essas formas, como dito anteriormente, sólidos geométricos simples para representar da melhor maneira as diferentes regiões do corpo do fantasma. A escolha desses sólidos veio simplificar as equações matemáticas que descrevem as diversas regiões do corpo e conseqüentemente minimizar o tempo de computação.

Para o desenvolvimento das citadas equações foi estabelecido um sistema de coordenadas cartesianas com origem situada na separação das pernas (vide Figura 3) e os eixos x, y e z dirigidos respectivamente para a esquerda, para trás e para cima relativamente ao fantasma.

a) Região da cabeça

A região da cabeça é representada por um cilindro elíptico cujo topo é fechado com metade de um elipsóide. O cilindro elíptico é cortado por um plano inclinado na sua parte pósterio-inferior conforme visto na Figura 4. O volume dessa região é $3531,28\text{cm}^3$, sua massa é 3942g e suas inequações são:

$$\text{Para } 56,87 \leq z \leq 68,8, \text{ então } \left(\frac{x}{7,25}\right)^2 + \left(\frac{y}{9,6}\right)^2 \leq 1 \quad e$$

$$y \leq 0,36205z - 14,75$$

$$\text{Para } 68,8 < z \leq 76, \text{ então } \left(\frac{x}{7,25}\right)^2 + \left(\frac{y}{9,6}\right)^2 + \left(\frac{z-68,8}{7,2}\right)^2 \leq 1$$

b) Região do pescoço

A região do pescoço é representada por um cilindro circular como mostram as Figuras 3 e 4. Seu volume é $309,82\text{cm}^3$, sua massa $329,98\text{g}$ e suas inequações são:

$$\text{Para } 52 \leq z < 56,87, \text{ então, } x^2 + (y-1,35)^2 \leq 4,5^2$$

c) Região do tronco

A região do tronco é representada por um cilindro elíptico cortado por seis planos inclinados (um antero-superior, um antero-inferior, um pósterosuperior, um pósteroinferior e dois passando pela origem das coordenadas na direção do eixo y e uma superfície curva na região posterior na altura da parte lombar da coluna vertebral, como é visto na Figura 4. O volume e a massa dessa região são, respectivamente, $16012,5\text{cm}^3$ e $15756,13\text{g}$. Suas inequações são:

$$\text{Para } 0 \leq z \leq 52, \text{ então, } \left(\frac{x}{12,3}\right)^2 + \left(\frac{y}{9,6}\right)^2 \leq 1 \quad \text{e}$$

$$z \leq 1,9984y + 58,32$$

$$z \geq -4,5275y - 27,84$$

$$z \leq -1,3580y + 59,93$$

$$z \geq 1,6268y - 10,17$$

$$z \geq 1,0569|x|$$

Se $14,33 \leq z \leq 26,98$ e $y \geq 0$, então

$$\left(\frac{x}{12,3}\right)^2 + \left(\frac{y}{0,2802z + 6,77 - (10,95z - 0,225z^2 - 109,31)\frac{1}{2}}}\right)^2 \leq 1$$

d) Região dos braços

Os braços são representados por dois sólidos cônicos elípticos (Ver Figura 3 e 4). O volume total dos dois braços é $2858,9\text{cm}^3$, sua massa $3038,98\text{g}$ e suas inequações são:

$$\text{Para } 0 \leq z \leq 52, \text{ então } \left(\frac{|x| - \frac{1,5}{52}z - 13,8}{3}\right)^2 + \left(\frac{y}{5}\right)^2 \leq \left(\frac{z + 52}{104}\right)^2$$

e) Região das pernas

As pernas são subdivididas em duas sub-regiões: 1) sub-região superior que vai da altura onde as pernas se separam ($z = 0$) até a região em que as pernas se unem ao tronco (Vide Figura 4). Essa região é definida por seis superfícies representadas por dois planos inclinados formando um "V", uma superfície elíptica mais dois planos inclinados, um

anterior e o outro posterior é o plano $z = 0$; 2) sub-região inferior de finida por dois sólidos cônicos circulares que vão dos pés até a altura onde as pernas se separam ($z = 0$). Os pés não foram incluídos explicitamente na região das pernas pelo fato de que a aplicação mais relevante que eles teriam seria no caso de áreas contaminadas, que é uma situação de interesse relativamente pequeno; mais ainda, os pés teriam influência desprezível nos casos de exposição interna em face de sua posição em relação ao corpo. O volume total das sub-regiões superiores mais as inferiores é 8490cm^3 , sua massa é $9000,46\text{g}$ e suas inequações são:

Sub-região superior

Para $0 \leq z \leq 1,0569|x|$, $z \geq -4,5275y - 27,84$ e $z \geq 1,6268y - 10,17$

$$\text{temos } \left(\frac{x}{12,3}\right)^2 + \left(\frac{y}{9,6}\right)^2 \leq 1$$

Sub-região inferior

Para $-64 \leq z \leq 0$, temos $(|x| - \frac{4,637}{64}z - 6,15)^2 + y^2 <$

$$< \left(\frac{4,637}{64}z + 6,15\right)^2$$

f) Região dos órgãos genitais

Essa região é definida como um quarto de um elipsóide (Vide Figuras 3 e 4). O volume é $10,6\text{cm}^3$, a massa $10,80\text{g}$ e suas inequações são:

$$\text{Para } z < 0 \text{ e } y \leq -4,02 \text{ temos } \left(\frac{x}{1,5}\right)^2 + \left(\frac{y + 4,02}{2,5}\right)^2 + \left(\frac{z}{2,7}\right)^2 < 1$$

IV. DESENVOLVIMENTO DO ESQUELETO DO FANTASMA

IV.1. Determinação da massa total do esqueleto

Sabe-se que no homem, como em todos os animais, a massa do esqueleto varia de indivíduo para indivíduo de mesma idade. Contudo, a massa do esqueleto da criança de 10 anos de idade é estimada em aproximadamente 50% da massa do esqueleto do adulto⁽²²⁾. Com isso em mente e face à

escassez de dados sobre o esqueleto de crianças, usou-se um método no qual se faz a suposição de que a fração da massa do corpo representada pelo esqueleto é igual a fração usada para o adulto, ou seja,

$\frac{10\text{kg}}{70\text{kg}} = 0,1428$, onde 10kg e 70kg são respectivamente, as massas do esqueleto e do corpo todo do adulto. Portanto, sendo a massa do corpo todo do fantasma igual a 3200g, a massa do esqueleto foi calculada como segue: $m = 0,1428 \times 32000 = 4570\text{g}$.

Na determinação da massa de cada osso do esqueleto, feita mais adiante, a massa total resultou, no final do projeto, em 4634,29g o que corresponde a 46,3% da massa do esqueleto do adulto. Portanto, está de acordo com a estimativa de 50% acima citada.

IV. 2. Determinação da massa e volume de cada osso do esqueleto do fantasma

O esqueleto, neste trabalho, é composto de uma mistura homogênea de tecido cortical, trabecular, cartilaginoso, periarticular e medula óssea. Chamamos de "parte densa" dos ossos do esqueleto a mistura dos quatro primeiros componentes acima.

As massas e volumes dos ossos do esqueleto, para a idade de 10 anos, não foram encontradas na literatura. Face a isso, foi necessário dividir um método de obtenção de seus valores. Esse método é descrito como segue:

Inicialmente procurou-se saber o volume total de cada um dos tecidos que compõem o esqueleto do fantasma (parte densa e da medula). Para a parte densa, esses dados não são encontrados na literatura pelo fato de incluírem a cartilagem e os tecidos periarticulares. Portanto, seus valores foram obtidos calculando, primeiramente, sua densidade, que, por sua vez, foi obtida do fantasma adulto pelo cálculo do volume de cada um dos tecidos que compõem o seu esqueleto (Vide tabela 4). Em seguida, dividiu-se a massa total da parte densa do esqueleto do adulto (7000g) pelo seu volume total ($4343,51\text{cm}^3$), obtendo-se o valor $1,6116\text{g/cm}$ para a parte densa dos ossos. Quanto à medula, sua densidade foi obtida diretamente da literatura. Fazendo-se uma série de cálcu

Os (3)(1)(40)(51)(22)(37)(42) pertinentes ao esqueleto, chegou-se à massa, volume e densidade de cada osso do esqueleto de criança de 10 anos de idade, como mostra a Tabela 5.

TABELA 4. MASSA, DENSIDADE E VOLUME TOTAL DE CADA COMPONENTE DA HISTÓRIA QUE REPRESENTA A PARTE DENSA DOS OSSOS DO ESQUELETO DO FANTASMA ADULTO (21)

Componentes	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)	Volume (cm ³) (calculado)
Tecido cortical	4000	1,99	2010,05
Tecido trabecular	1000	1,92	520,83
Tecido cartilaginoso	1100	1,098	1001,82
Tecido periarticular	900	1,11	810,81
Total	7000		4343,51

IV.3. Descrição matemática de cada osso do esqueleto

Baseando-se no sistema de coordenadas já descrito anteriormente, nos volumes finais dos ossos do esqueleto oferecidos pela Tabela 5 e nas formas e posições obtidas dos livros de anatomia, as inequações que descrevem cada osso do esqueleto foram determinadas da mesma maneira como foram as inequações para as regiões do corpo do fantasma. A Figura 5 mostra o esqueleto do fantasma aqui desenvolvido e a Figura 6 mostra a escápula projetada. As inequações que descrevem cada osso do esqueleto são encontradas na referência 11.

TABELA 5. VOLUME, MASSA E DENSIDADE DOS OSSOS DO ESQUELETO

Ossos do esqueleto	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
Ossos da cabeça	682,14	967,96	1,419
Ossos da cabeça exceto mandíbula	613,40	870,42	1,419
Mandíbula	68,73	97,54	1,419
Coluna vertebral	492,90	699,48	1,419
Parte cervical	68,93	97,82	1,419
Parte torácica	231,46	328,47	1,419
Parte lombar	192,51	273,19	1,419
Costelas e esterno	252,50	358,32	1,419
Clavículas	25,29	35,89	1,419
Escápulas	100,62	142,79	1,419
Ômeros	119,02	168,91	1,419
Braços inferiores	196,04	278,20	1,419
Pelvis e sacro	418,36	593,70	1,419
Pelvis	326,30	463,07	1,419
Sacro	92,06	130,63	1,419
Fêmures	426,97	605,92	1,419
Pernas inferiores	551,84	783,12	1,419
Esqueleto	3265,68	4634,29	1,419

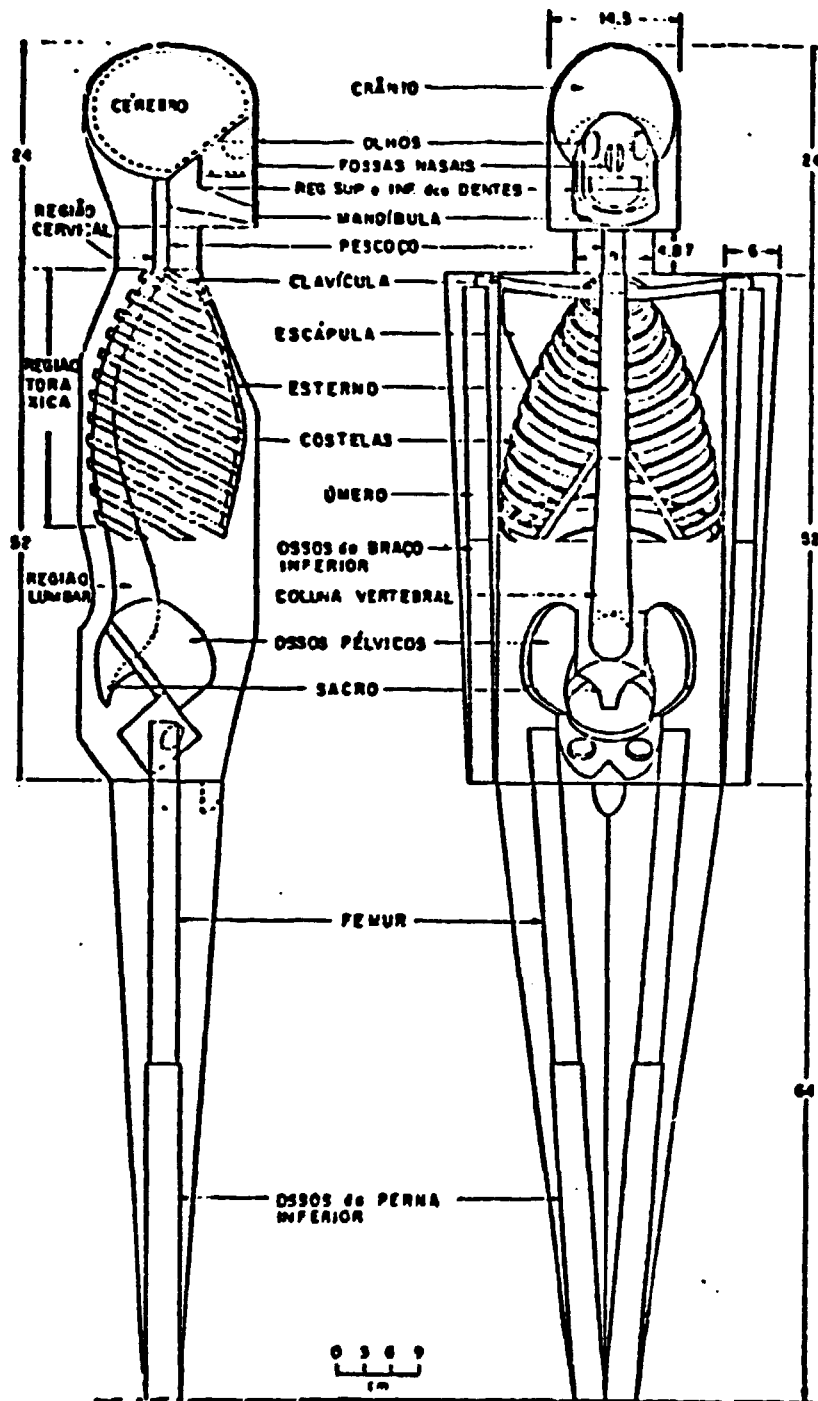


Figura 5 - Esqueleto do fantasma da criança de 10 anos de idade

V. DESENVOLVIMENTO DOS ÓRGÃOS INTERNOS DO FANTASMA

V.1. Determinação da massa e volume dos órgãos internos do corpo do fantasma

Inicialmente, para se determinar as inequações que definem cada órgão do corpo do fantasma é preciso conhecer seus respectivos volumes. Para isso, foi necessário, primeiramente, determinar as massas e as densidades desses órgãos.

As massas foram obtidas da literatura e representam a média dos valores encontrados para crianças de 10 anos de idade. A densidade, D , foi determinada, como dito no item anterior, pela razão entre a massa total e o volume total de tecido mole no corpo do fantasma. A massa total de tecido mole (M_{Tm}) foi, por sua vez, obtida subtraindo-se da massa total do corpo do fantasma (M_F) a massa do esqueleto (M_E) e dos pulmões (M_p), e o volume total (V_{Tm}), subtraindo-se do volume total do corpo do fantasma (V_F) o volume do esqueleto (V_E) e dos pulmões (V_p). Equacionando, teremos :

$$M_{Tm} = M_F - M_E - M_p = 32079 - 4634,29 - 426 = 27018,71g$$

$$V_{Tm} = V_F - V_E - V_p = 31219,78 - 3265,68 - 1440 = 26514,10 \text{ cm}^3$$

$$D = \frac{M_{Tm}}{V_{Tm}} = \frac{27018,71}{26514,10} = 1,0190 \text{ g/cm}^3$$

O volume de cada órgão foi então obtido dividindo-se sua massa pela densidade acima. A Tabela 6 mostra as massas e volumes para a criança de 10 anos de idade.

V.2. Descrição matemática dos órgãos internos do corpo do fantasma

Baseado nos volumes da Tabela 6 e nas formas e posições dos órgãos internos do corpo, obtidas da literatura^{(17), (19), (48)}, as inequações que descrevem cada órgão foram determinadas da mesma maneira como foram as inequações que descrevem as regiões do corpo do fantasma. As Figuras 7, 8 e 9 mostram os órgãos internos. A descrição matemática dos órgãos internos do corpo do fantasma é encontrada na referência 11.

TABELA 6. MASSA E VOLUME DOS ÓRGÃOS E DOS CONTEÚDOS DO TRATO GASTROINTESTINAL E DA BEXIGA

Órgãos	Massa (g)	Volume (cm³)	Densidade (g/cm³)
Cérebro	1375,10 ^{1(*)}	1349,46	1,01900
Tireóide	9,02 ²	8,85	1,01920
Tímo	30,81	30,24	1,01885
Coração	136,80 ³	134,25	1,01899
Pulmões	426,00 ⁴	1440,00	0,29583
Fígado	896,00 ⁵	879,29	1,01900
Rins	178,40 ⁶	175,11	1,01879
Glândulas adrenais	7,44 ⁷	7,297	1,01960
Baço	79,90 ⁸	78,37	1,01952
Pâncreas	26,60 ⁹	26,08	1,01994
Trato gastrointestinal (exceto estômago)			
Paredes	499,59	490,27	1,01901
Conteúdo	379,20	372,13	1,01899
Estômago			
Paredes	88,20 ¹⁰	86,52	1,01942
Conteúdo	121,00	118,77	1,01878
Intestino delgado			
Paredes e conteúdo	519,20 ¹¹	509,50	1,01904
Intestino grosso superior			
Paredes	100,70	98,74	1,01985
Conteúdo	109,30	107,25	1,01911
Intestino grosso inferior			
Paredes	79,69	78,13	1,01997
Conteúdo	69,90	68,60	1,01895
Bexiga			
Paredes	23,10	22,66	1,01942
Conteúdo	51,94	50,97	1,01903
Ovários	3,25 ¹²	3,187	1,01977

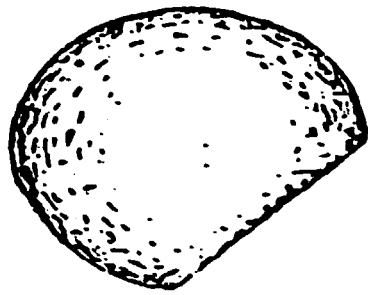
.../...

(CONT.) TABELA 6. MASSA E VOLUME DOS ÓRGÃOS E DOS CONTEÚDOS DO TRATO GASTROINTESTINAL E DA BEXIGA

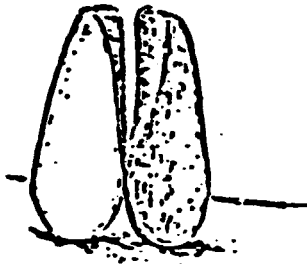
Órgãos	Massa (g)	Volume (cm ³)	Densidade (g/cm ³)
Útero	5,39 ¹³	5,291	1,01871
Testículos	1,854 ¹⁴	1,819	1,01924
Pele do corpo	2012,03	1974,51	1,01900
Total dos órgãos	5373,484	5273,204	1,01902
+ pulmões	426,00	1440,00	0,29583
	<u>5799,484</u>	<u>6713,204</u>	

(*) Os números acima dos valores das massas dos órgãos indicam as referências descritas abaixo.

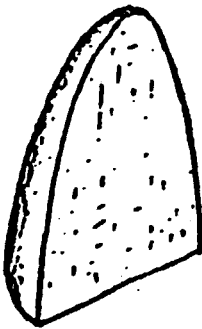
- | | |
|---------------------------|--------------------|
| 1 - (22) | 8 - (5, 9, 29, 22) |
| 2 - (35, 22, 44) | 9 - (35, 22) |
| 3 - (4, 9, 24, 33, 22) | 10 - (14, 36, 22) |
| 4 - (7, 9, 33, 22) | 11 - (13, 22) |
| 5 - (5, 7, 9, 29, 35, 22) | 12 - (34, 22) |
| 6 - (7, 9, 12, 22) | 13 - (4, 7, 34) |
| 7 - (22) | 14 - (22) |



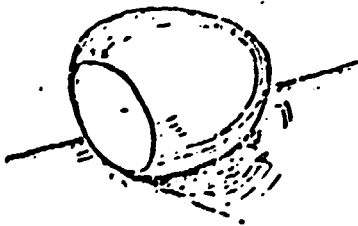
Cérebro



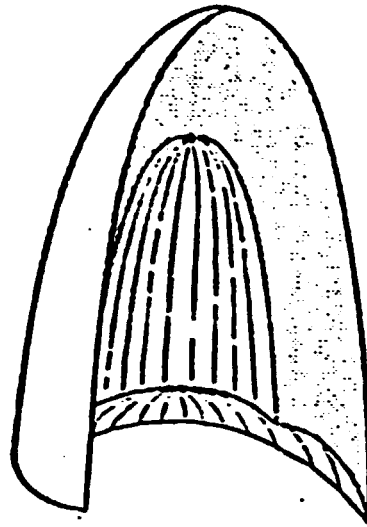
Tireóide



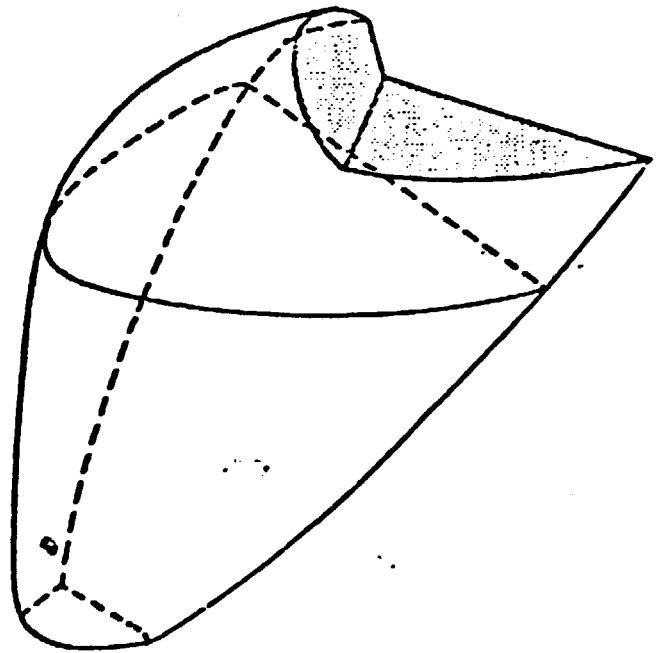
Timo



Coração

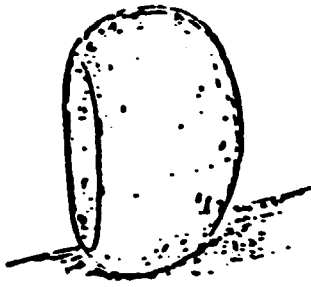


Pulmão direito,

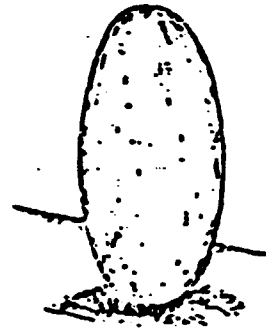


Fígado

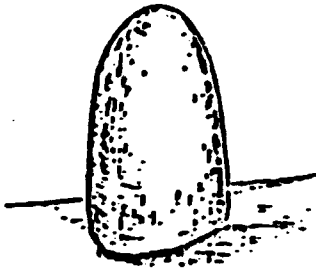
Figura 7 - Órgãos do fantasma: Cérebro, tireóide, timo, coração, pulmão direito e fígado (nesta figura não foram mantidas as proporções entre os órgãos)



Rim



Ovário



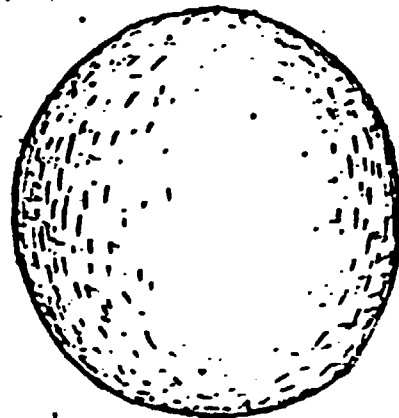
Glândula adrenal



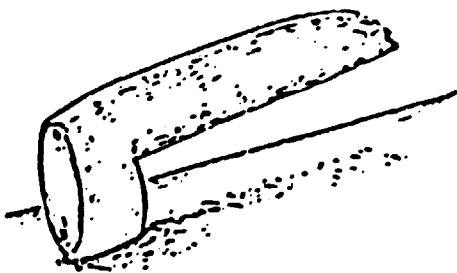
Útero



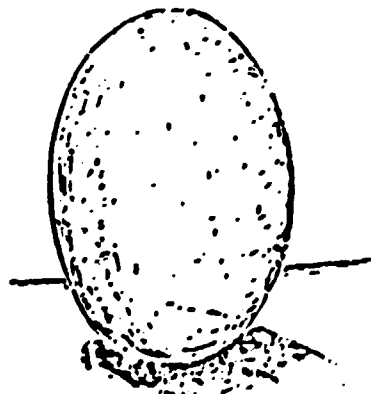
Baço



Bexiga



Pâncreas



Testículo

Figura 8 - Órgãos do fantasma: Rim, glândula adrenal, baço, pâncreas, ovário, útero, bexiga e testículo (nesta figura não foram mantidas as proporções entre os órgãos)

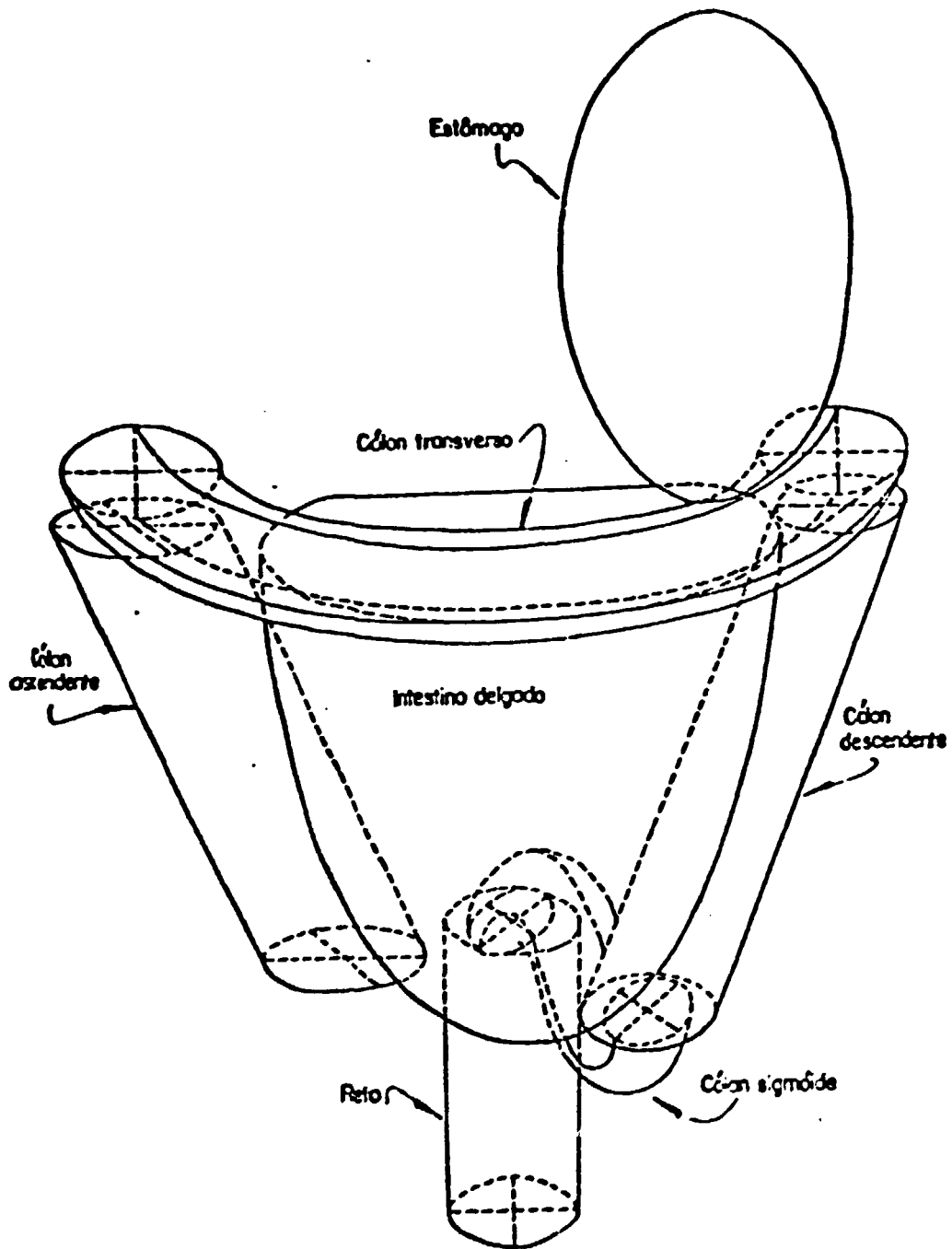


Figura 9 - Trato gastrointestinal

VI. MÉTODO DE MONTE CARLO PARA O CÁLCULO DA DOSE ABSORVIDA

Para o cálculo da fração específica de energia (fração de energia que foi absorvida no órgão em relação à energia emitida pela fonte, por unidade de massa) nos vários órgãos do corpo do fantasma, em consequência da presença de fonte de radiação, foi usado o método de Monte Carlo. Este método é baseado numa previsão estatística das taxas de interação, transferência de energia por interação e caminhos seguidos pela radiação após a interação. O local dessa primeira interação é escolhido pelo computador fazendo um jogo aleatório. Se determinada condição é aprovada o local será aceito. Se não for aprovada o fóton continua da quele ponto para a frente sem mudar sua energia e sua direção. Quem controla esse jogo é o coeficiente de atenuação μ_0 que é maior ou igual a μ para o espalhamento fotoelétrico, para o espalhamento Compton e para o processo de produção de pares em qualquer dos tecidos que compõem este fantasma. O local da interação é determinada por uma expressão exponencial que relaciona μ_0 com a distância atravessada pelo fóton até ocorrer a interação e com um número aleatório entre 0 e 1.

O desvio padrão, σ , na estimativa da dose absorvida obtida pelo método acima e o coeficiente de variação (CV) para a mesma estimativa e para a mesma energia média \bar{E} são obtidos pelo computador, onde $CV = 100 \frac{\sigma}{\bar{E}}$, expresso em porcentagem.

VII. RESULTADOS

Depois da obtenção da estrutura externa, do esqueleto e dos órgãos do corpo do fantasma, suas inequações foram programadas para uso num computador digital. Esse conjunto de inequações formaram a subrotina "geometria" para uso nos cálculos das frações absorvidas específicas (FAE) pelo método de Monte Carlo. Esses cálculos forneceram valores das FAE para os órgãos principais atingidos pelos radionuclídeos fornecidos pelo "Scientific Committee 51-8, Radiation Protection Applied to Pediatric Nuclear Medicine, do National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP)". A relação é a seguinte:

<u>Radionuclídeos</u>	<u>Principais órgãos atingidos</u>
^{51}Cr	Rins, conteúdo da bexiga, baço, fígado, medula óssea hematopoética e corpo todo
^{111}In	Fígado, baço, medula óssea hematopoética e corpo todo.
^{67}Ga	Fígado, baço, rins, cont. da bexiga, conteúdo do int. grosso sup., cont. do intestino grosso inf. e corpo todo.
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	Rins, cont. da bexiga, fígado, baço, med. óssea hemat., pulmões, tireóide, cont. do intest. grosso inf., paredes do estômago e corpo todo.
^{131}I	Tireóide, cont. do estômago, cont. do intest. delgado, rins, cont. da bexiga, paredes do estom, e corpo todo
^{123}I	Rins, pulmões, fígado e tireóide.

As Tabelas 7 e 8 mostram as FAE calculadas para o ^{99m}Tc usando o fantasma desenvolvido neste trabalho e o fantasma similar do adulto. As FAE, para os outros radioisótopos acima indicados, que foram calculadas usando o fantasma aqui proposto, são apresentadas nas Tabelas 9, 10, 11, 12 e 13, mostradas na referência 11.

TABELA 14. RAZÃO ENTRE AS FAE NOS ÓRGÃOS DO FANTASMA DESENVOLVIDO NESTE TRABALHO E AS FAE NOS ÓRGÃOS DO FANTASMA SIMILAR AO ADULTO, PARA O ^{99m}Tc UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDO NOS ÓRGÃOS FONTES SELECIONADOS

Órgãos alvos	Órgãos fontes			
	Cont. da bexiga	Tireoide	Med.óss. hematop.	Corpo todo
Cérebro	-	0,76	0,52	1,71
Olhos	-	-	-	-
Tireoide	-	1,35	3,00	2,24
Tímo	-	0,99	0,88	1,20
Coração	1,34	1,06	0,76	1,07
Pulmão esquerdo	0,72	1,69	1,02	0,93
Pulmão direito	1,16	1,80	1,04	1,04
Fígado	0,89	1,96	0,75	0,98
Glândula adrenal esquerda	-	-	0,39	1,34
Glândula adrenal direita	-	-	0,54	1,84
Rim esquerdo	0,90	3,19	0,84	1,18
Rim direito	1,21	4,30	0,74	1,12
Baço	1,80	2,45	0,87	0,96
Pâncreas	5,04	0,37	0,75	1,02
Parede do estômago	1,36	0,99	0,68	1,04
Parede do I.D.	2,13	1,67	0,54	0,99
Paredes do I.G.S.	1,22	1,96	0,59	0,86
Paredes do I.G.I	1,73	-	0,68	0,91
Ovário esquerdo	1,51	-	2,09	1,15
Ovário direito	1,15	-	0,87	2,33
Testículo esquerdo	1,04	-	-	-
Testículo direito	1,24	-	-	-

(CONT.) TABELA 14. RAZÃO ENTRE AS FAE NOS ÓRGÃOS DO FANTASMA DESENVOLVIDO NESTE TRABALHO E AS FAE NOS ÓRGÃOS DO FANTASMA SIMILAR AO ADULTO, PARA O ^{99m}Tc UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDO NOS ÓRGÃOS FONTES SELECIONADOS

Órgãos alvos	Órgãos fontes			
	Cont. da bexiga	Tireóide	Med. oss. hematop.	Corpo todo
Útero	2,09	-	0,94	1,10
Parede da bexiga	1,31	-	2,02	1,00
Pele do corpo	0,84	1,10	0,99	0,98
Esqueleto	2,33	1,80	1,04	1,01
Medula óssea hematopoética	1,07	1,65	0,46	0,88
Medula óssea não hematopoética	2,37	3,32	1,08	1,04
Restante dos tecidos	1,03	0,99	0,86	0,95
Corpo todo	1,12	1,07	0,89	1,01

Os dados na Tabela 14 mostram que houve grande variação nos valores de razão, isto é, variou de 0,37 a 5,04. O fator 0,37 corresponde à razão das FAE no pâncreas quando a tireóide é o órgão fonte, e 5,04 no pâncreas quando o conteúdo da bexiga é o órgão fonte. No primeiro caso (0,37) a FAE é menor por estar o pâncreas mais distanciado da tireóide no fantasma deste trabalho que no fantasma similar ao adulto. No entanto, no segundo caso, verificou-se que essa FAE é aumentada de um fator 5,04 por estar o pâncreas mais próximo da bexiga que no fantasma similar ao adulto. Nesta diferença, e nas demais, está também incluído o fator geometria, principal responsável pela distribuição espacial de energia espalhada pelo esqueleto e pelo restante dos tecidos no interior do fantasma.

Para a medula óssea hematopoética como órgão fonte, verificou-se que a FAE nas paredes da bexiga diferem por um fator 2,02 pelo fato de sua proximidade (no fantasma deste trabalho) dos ossos pélvicos e sa

TABELA 7 - FRAÇÕES ABSORVIDAS ESPECÍFICAS (FAE), NOS ÓRGÃOS SELECIONADOS; PARA O 30MTC UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDO EM VÁRIOS ÓRGÃOS FONTES

Órgãos alvos	Órgãos Fontes					
	Rins	C.V. Conteúdo da bexiga	C.V. Fígado	C.V. Baço	C.V.	
Cérebro	0,672E-07	21	0,147E-06	17	0,104E-06	21
Olhos	-	-	-	-	-	-
Tireóide	-	-	-	-	-	-
Timo	0,381E-05	15	0,477E-06	34	0,169E-05	41
Coração	0,117E-04	5	-	10	0,350E-05	16
Pulmão esquerdo	0,787E-05	4	0,237E-06	3	0,996E-05	5
Pulmão direito	0,834E-05	4	0,246E-06	3	0,139E-04	3
Fígado	0,263E-04	1	0,155E-05	3	0,356E-05	6
Glândula adrenal esquerda	0,130E-03	9	-	0,5	0,740E-05	3
Glândula adrenal direita	0,106E-03	10	-	19	0,789E-04	11
Rim esquerdo	0,374E-03	1	0,268E-05	10	0,182E-04	20
Rim direito	0,376E-03	1	0,312E-05	6	0,121E-03	2
Baço	0,681E-04	3	0,270E-05	3	0,131E-04	5
Pâncreas	0,110E-03	4	0,574E-05	8	0,757E-03	0,8
Paredes do estômago	0,337E-04	3	0,292E-05	7	0,613E-04	5
Paredes do I.D.	0,165E-04	2	0,408E-04	5	0,434E-04	3
Paredes do I.G.S.	0,180E-04	4	0,206E-04	4	0,105E-04	3
Paredes do I.G.I.	0,833E-05	7	0,712E-04	5	0,114E-04	5
Ovário esquerdo	0,927E-05	48	0,621E-04	2	0,102E-04	6
Ovário direito	0,118E-04	32	0,537E-04	10	0,117E-04	42
Testículo esquerdo	-	-	-	-	-	-
Testículo direito	-	-	-	-	-	-
Útero	0,494E-05	29	0,365E-04	32	-	-
Parentes da bexiga	0,235E-05	20	0,204E-03	6	0,535E-05	31
Pele do corpo	0,310E-05	2	0,590E-03	2	0,224E-05	20
Esqueleto	0,129E-04	1	0,307E-05	2	0,422E-05	2
Medula óssea hematopoiética	0,120E-04	1	0,137E-04	0,9	0,678E-05	1
Medula óssea não hematopoiética	0,120E-04	1	0,137E-04	0,9	0,670E-05	1
Restante dos tecidos	0,109E-04	4	0,118E-04	0,4	0,751E-05	0,5
Corpo todo	0,132E-04	0,3	0,135E-04	0,3	0,112E-04	0,4

TABELA 7 - (CONT.) FRAÇÕES ABSORVIDAS ESPECÍFICAS (FAE), NOS ÓRGÃOS SELECIONADOS, PARA O 99MTC UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDO EM VÁRIOS ÓRGÃOS FONTES

Órgãos alvos	Ó r g ã o s F o n t e s							
	Medula óssea hematopoiética C.V.	Pulmões	C.V. Tireóide	C.V. Conteúdo do I.G.S.	C.V.	C.V.		
Cérebro	0,461E-05	3	0,773E-06	7	0,538E-05	3	0,134E-07	40
Olhos	0,723E-05	18	-	-	0,614E-05	19	-	-
Tireóide	0,111E-04	21	0,762E-05	21	0,294E-02	1	-	-
Timo	0,557E-05	14	0,321E-04	6	0,231E-04	7	0,149E-05	27
Coração	0,553E-05	8	0,351E-04	3	0,473E-05	8	0,366E-05	9
Coração esquerdo	0,794E-05	5	0,100E-03	1	0,117E-04	4	0,179E-05	9
Pulmão direito	0,851E-05	5	0,952E-04	1	0,117E-04	4	0,178E-05	9
Fígado	0,507E-05	3	0,161E-04	2	0,102E-05	6	0,135E-04	2
Glândula adrenal esquerda	0,792E-05	40	0,226E-04	22	0,174E-05	40	0,158E-04	23
Glândula adrenal direita	0,827E-05	26	0,171E-04	23	-	-	0,137E-04	24
Rim esquerdo	0,122E-04	7	0,809E-05	7	0,690E-06	22	0,151E-04	5
Rim direito	0,111E-04	6	0,717E-05	7	0,119E-05	17	0,195E-04	5
Bíço	0,608E-05	9	0,867E-05	8	0,908E-06	21	0,137E-04	6
Pâncreas	0,853E-05	12	0,642E-05	14	0,411E-06	38	0,353E-04	6
Paredes do estômago	0,453E-05	9	0,811E-05	7	0,601E-06	22	0,297E-04	4
Paredes do I.D.	0,932E-05	3	0,146E-05	8	0,211E-06	23	0,656E-04	1
Paredes do I.G.S.	0,819E-05	6	0,187E-05	12	0,176E-06	36	0,230E-03	1
Paredes do I.G.I.	0,135E-04	6	0,654E-06	22	0,759E-07	47	0,249E-04	4
Ovário esquerdo	0,180E-04	32	-	-	-	-	0,172E-04	30
Ovário direito	0,164E-04	38	-	-	-	-	0,720E-04	17
Testículo esquerdo	-	-	-	-	-	-	-	-
Testículo direito	-	-	-	-	-	-	-	-
Útero	0,118E-04	19	-	-	-	-	0,309E-04	15
Paredes da bexiga	0,131E-04	11	0,774E-06	35	-	-	0,215E-04	8
Pele do corpo	0,543E-05	2	0,461E-05	2	0,590E-05	2	0,314E-05	2
Esqueleto	0,252E-04	0,7	0,940E-05	1	0,126E-04	1	0,966E-05	1
Medula óssea hematopoiética	0,253E-04	0,7	0,940E-05	1	0,126E-04	1	0,966E-05	1
Medula óssea não hematopoiética	0,253E-04	0,7	0,940E-05	1	0,126E-04	1	0,966E-05	1
Restante dos tecidos	0,737E-05	0,6	0,902E-05	0,5	0,897E-05	0,5	0,992E-05	0,5
Corpo todo	0,966E-05	0,4	0,971E-05	0,4	0,941E-05	0,4	0,122E-04	0,4

TABELA 7 (CONT.) - FRAÇÕES ABSORVIDAS ESPECÍFICAS (FAE) NOS ÓRGÃOS SELECIONADOS, PARA O ^{99m}Tc UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDO EM VÁRIOS ÓRGÃOS FONTES

Órgãos alvos	Ó r g ã o s - F o n t e s						C.V. Total		
	Conteúdo do I.G.I.	C.V. Paredes do estômago	C.V. Esqueleto	C.V. Corpo todo	C.V.	Total			
Cérebro	0,900E-08	48	0,108E-06	20	0,114E-04	2	0,858E-05	2	0,312E-04
Olhos	-	-	-	-	0,161E-04	13	0,752E-05	18	0,370E-04
Tireóide	-	-	-	-	0,118E-04	19	0,135E-04	18	0,298E-02
Timo	0,849E-06	45	0,700E-05	12	0,621E-05	14	0,110E-04	10	0,104E-03
Coração	0,132E-05	14	0,191E-04	4	0,475E-05	8	0,120E-04	5	0,138E-03
Pulmão esquerdo	0,804E-06	15	0,116E-04	4	0,643E-05	5	0,896E-05	5	0,177E-03
Pulmão direito	0,599E-06	14	0,506E-05	5	0,635E-05	5	0,900E-05	4	0,177E-03
Fígado	0,255E-05	5	0,203E-04	2	0,433E-05	4	0,108E-04	2	0,260E-03
Glândula adrenal esquerda	0,552E-05	41	0,329E-04	15	0,862E-05	32	0,174E-04	22	0,345E-03
Glândula adrenal direita	0,185E-05	46	0,188E-04	22	0,951E-05	28	0,205E-04	23	0,302E-03
Rim esquerdo	0,120E-04	6	0,475E-04	3	0,908E-05	7	0,132E-04	6	0,633E-03
Rim direito	0,567E-05	8	0,179E-04	5	0,102E-04	7	0,126E-04	6	0,521E-03
Baço	0,984E-05	7	0,482E-04	3	0,595E-05	9	0,983E-05	7	0,162E-02
Pâncreas	0,134E-04	9	0,786E-04	4	0,818E-05	12	0,141E-04	10	0,365E-03
Paredes do estômago	0,109E-04	6	0,447E-03	1	0,373E-05	10	0,113E-04	6	0,613E-03
Paredes do I.D.	0,649E-04	1	0,191E-04	2	0,680E-05	4	0,129E-04	3	0,255E-03
Paredes do I.G.S.	0,281E-04	4	0,295E-04	3	0,675E-05	7	0,116E-04	5	0,381E-03
Paredes do I.G.I.	0,308E-03	1	0,105E-04	6	0,966E-05	7	0,117E-04	6	0,479E-03
Ovário esquerdo	0,209E-03	10	-	-	0,825E-05	38	0,100E-04	43	0,346E-03
Ovário direito	0,390E-04	19	-	-	0,895E-05	41	0,211E-04	35	0,223E-03
Testículo esquerdo	-	-	-	-	-	-	-	-	0,291E-04
Testículo direito	-	-	-	-	-	-	-	-	0,365E-04
Útero	0,185E-03	6	0,442E-05	2	0,968E-05	26	0,140E-04	21	0,471E-03
Paredes da bexiga	0,967E-04	4	0,312E-05	19	0,101E-04	13	0,115E-04	11	0,754E-03
Pele do corpo	0,311E-05	2	0,369E-05	2	0,456E-05	2	0,528E-05	2	0,499E-04
Esqueleto	0,149E-04	0,9	0,615E-05	1	0,248E-04	0,7	0,118E-04	1	0,158E-03
Med. óssea hematopoiética	0,149E-04	0,9	0,614E-05	1	0,251E-04	0,7	0,118E-04	1	0,156E-03
Medula óssea não hematopoiética	0,149E-04	0,9	0,614E-05	1	0,251E-04	0,7	0,118E-04	1	0,156E-03
Restante dos tecidos	0,109E-04	0,4	0,103E-04	0,5	0,629E-05	0,6	0,846E-05	0,5	0,111E-03
Corpo todo	0,132E-04	0,3	0,119E-04	0,4	0,909E-05	0,4	0,902E-05	0,5	0,133E-03

TABELA 8 - FRAÇÕES ABSORVIDAS ESPECÍFICAS NOS ÓRGÃOS DO FANTASMA SIMILAR AO ADULTO, PARA O ^{99m}Tc UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDO NO ÓRGÃO FONTE

Órgãos alvos	Órgãos Fontes			
	Conteúdo da bexiga	C.V. Tireóide	C.V. Medula óssea hematopoiética	C.V. Corpo todo
Cérebro	-	0,709E-05	3	0,891E-05
Olhos	-	0,217E-02	1	0,371E-05
Tireóide	-	0,234E-04	11	0,632E-05
Timo	-	0,446E-05	6	0,731E-05
Coração	0,357E-06	0,694E-05	5	0,779E-05
Pulmão esquerdo	0,328E-06	0,651E-05	5	0,822E-05
Pulmão direito	0,211E-06	0,931E-06	8	0,677E-05
Fígado	0,173E-05	-	25	0,130E-04
Glândula adrenal esquerda	-	-	26	0,111E-04
Glândula adrenal direita	-	0,153E-04	7	0,111E-04
Rim esquerdo	0,297E-05	0,216E-06	36	0,145E-04
Rim direito	0,258E-05	0,277E-06	40	0,150E-04
Baço	0,150E-05	0,370E-06	23	0,708E-05
Pâncreas	0,114E-05	0,110E-05	32	0,114E-04
Paredes do estômago	0,214E-05	0,608E-06	30	0,663E-05
Paredes do I.D.	0,192E-04	0,127E-06	23	0,173E-04
Paredes do I.G.S.	0,169E-04	0,902E-07	46	0,139E-04
Paredes do I.G.I.	0,453E-04	-	3	0,198E-04
Ovário esquerdo	0,412E-04	-	19	0,862E-05
Ovário direito	0,466E-04	-	20	0,190E-04
Testículo esquerdo	0,282E-04	-	12	0,352E-05
Testículo direito	0,295E-04	-	13	0,252E-05
Útero	0,979E-04	-	4	0,126E-04
Paredes da bexiga	0,451E-03	-	2	0,650E-05
Pele do corpo	0,367E-05	0,537E-05	2	0,448E-05
Esqueleto	0,590E-05	0,700E-05	1	0,243E-04
Medula óssea hematopoiética	0,129E-04	0,766E-05	2	0,544E-04
Medula óssea não hematopoiética	0,581E-05	0,380E-05	2	0,233E-04
Restante dos tecidos	0,114E-04	0,902E-05	0,3	0,840E-05
Corpo todo	0,120E-04	0,883E-05	0,5	0,108E-04
			26	0,607E-05
			21	0,919E-05
			5	0,112E-04
			5	0,960E-05
			5	0,941E-05
			3	0,110E-04
			25	0,130E-04
			26	0,111E-04
			7	0,111E-04
			7	0,113E-04
			8	0,103E-04
			11	0,138E-04
			9	0,109E-04
			3	0,131E-04
			5	0,135E-04
			5	0,128E-04
			38	0,875E-05
			28	0,908E-05
			33	0,109E-04
			36	0,117E-04
			10	0,128E-04
			13	0,114E-04
			3	0,539E-05
			0,7	0,117E-04
			0,8	0,134E-04
			0,8	0,113E-04
			0,6	0,890E-05
			0,4	0,931E-05

cro, que possuem mais de 20% da quantidade total dessa medula no esqueleto. O mesmo pode ser dito quanto à tireoide como órgão alvo (razão igual a 3,00) pela sua bem maior proximidade das costelas e da coluna vertebral que no modelo similar ao adulto; ainda a tireoide como órgão alvo e o corpo todo como órgão fonte (fator 2,24) a FAE é maior que no fantasma similar ao adulto por causa da geometria do fantasma aqui desenvolvido. Quanto aos ovários, verificou-se que houve uma variação de um fator 2,4 entre os valores para o ovário esquerdo e o direito quando o órgão fonte é a medula óssea hematopoética, e 2,03 para o ovário direito e o esquerdo quando o corpo todo é o órgão fonte. Isso é explicado, no primeiro caso, pelo grande coeficiente de variação (até 38%) e no segundo caso também (até 43%). O mesmo pode ser dito quanto às glândulas adrenais quando a medula óssea hematopoética e o corpo todo são os órgãos fontes.

Quanto ao cérebro verifica-se novamente que houve uma redução na FAE de um fator aproximado 2, quando a medula óssea hematopoética é o órgão fonte. Essa redução é explicada principalmente pela completa modificação nas formas dos ossos da cabeça e pela blindagem oferecida pelas costelas e coluna vertebral.

Para o corpo todo como órgão fonte verificou-se, como esperado, grande variação nas FAE somente para o cérebro, tireoide, glândulas adrenais e ovários. Para os dois primeiros, a diferença foi causada pelas modificações já citadas, e para os dois últimos pelo valor alto dos correspondentes coeficientes de variação (até 32% para as glândulas adrenais e até 43% para os ovários). Quanto ao restante dos órgãos a variação é pequena (em geral menor que 15%), como esperada, quando se tem o corpo todo como órgão fonte.

Como complemento da análise de variação das FAE, verificou-se que as massas dos órgãos para o fantasma desenvolvido neste trabalho são muito mais representativas da idade de 10 anos que os correspondente valores para o fantasma similar ao adulto (comparados com os valores publicados por Wellman⁽⁴⁹⁾). Por exemplo, para a glândula timo, que diminui de tamanho com o aumento da idade, a razão entre o valor usado neste trabalho e o do fantasma similar ao adulto é 3, pelo motivo dessa glândula ter sido reduzida pelo mesmo fator que os outros órgãos do

tronco. Os testículos são 8 vezes maiores que no fantasma deste trabalho pelo mesmo motivo citado acima, isto é, ele foi reduzido pelo mesmo fator que as pernas do adulto, e, portanto, não foi levado em consideração o crescimento destes órgãos durante a puberdade. Comparado com Hellman, a diferença foi de apenas 8% com o fantasma deste trabalho. No caso do útero, ele é também 5 vezes maior pelo mesmo motivo citado acima, ou seja, não ter sido levado em conta o seu desenvolvimento durante a puberdade.

No caso da bexiga, o modelo deste trabalho faz com que ela encoste no osso púbico e é envolvida pela parte inferior da pelvis, como no caso real, o que não acontece com o modelo similar ao adulto, isto é, nesse modelo não existe o osso pubis e a parte inferior da pelvis fica muito distante da bexiga.

VIII. CONCLUSÕES

a) Se compararmos a Figura 1 com as Figuras 3 e 4, e a Figura 2 com a Figura 5, pode-se ver claramente que a forma geral do corpo e do esqueleto do fantasma desenvolvido neste trabalho é mais representativa do corpo e do esqueleto humano que as formas correspondentes do fantasma similar ao adulto. Além disso, a distribuição espacial da energia espalhada no interior do fantasma deste trabalho é mais representativa da situação real que no fantasma obtido do adulto.

b) As formas e posições dos órgãos são também mais realística que no fantasma similar ao adulto (cérebro, pulmões, fígado, intestino delgado, intestino grosso, região dos órgãos genitais, etc.).

c) O esqueleto foi projetado tendo em mente as suas aplicações, por exemplo, os ossos da cabeça foram elaborados de modo que os resultados sejam úteis na dosimetria de raios X dentários e na investigação da dose no cristalino dos olhos. O conjunto das costelas foi também completamente redesenhado, tendo a forma geral de parte de um elipsóide, lembrando as costelas reais e tocando, na sua superfície interior, os pulmões, como realmente acontece no corpo humano. A coluna vertebral possui

a parte cervical projetada de tal forma que o eixo maior da sua secção transversal elíptica fique paralelo à linha imaginária que une os om bros, e o conjunto das partes torácica e lombar forma um "S" como se ve rifica na coluna vertebral real. A pelvis, sendo também completamente redesenhada, oferece uma blindagem parcial à bexiga em consequência de sua parte frontal (osso pubis) ocasionando o espalhamento normal da ra diação nos órgãos importantes dessa região (ovário, testículos e útero), principalmente quando essa região é exposta à radiação externa. É claro que para fontes internas ao corpo, a radiação espalhada na pelvis e nos outros ossos do esqueleto são também importantes.

Pelos motivos acima apresentados e pela comparação dos resultados obtidos neste trabalho com aqueles obtidos para o fantasma similar ao adulto, conclui-se que as FAE aqui apresentadas para criança de 10 anos de idade são válidas e muito mais confiáveis que aquelas para o fantas ma do modelo similar ao adulto. Além disso, é conveniente salientar que essas frações terão grande aplicação não somente na medicina nuclear pe diátrica, mas também no campo geral da Proteção Radiológica, pelo seu uso imediato, além dos muitos trabalhos que delas poderão surgir.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) BARDEEN, C.R. The height-weight index of build in relation to linear and volumetric proportions and surface-area of the body during post-natal development. Washington, Carnegie Institution of Washington. Contribution to Embryology, vol. IX, n.27 to 46: 539-40, 1920.
- 2) BAYLEY, N. Growth curves of height and weight by age for boys and girls scaled according to physical maturity. J. Pediat., 48: 183, 1956.
- 3) BORISOV, B.K. & MAREI, A.N. Weight parameters of adult human skeleton. Health Phys., 27(2):224-29, 1974.
- 4) BOYD, E. An introduction to human biology and anatomy for first year medical students. Denver, Child Research Council, 1952
- 5) BOYD, E. The specific gravity of the human body. Hum. Biol., 5:646-72, 1933.
- 6) CAMERON, J.R.; SUNTHARALINGAM, N.; KENNEY, G.N. Thermoluminescent dosimetry. Madison, Univ. of Wisconsin of Wisconsin, 1968.
- 7) CASTALDI, L. & VANNUCCI, D. Le misure antropometriche esterne e i pesi viscerali piu importanti considerati in funzione del sesso, età, statura e costituzione. Scritti Biolog., 1:1-251, 1927.
- 8) CHEN, W.L. An evaluation of the distribution of absorbed dose in child phantoms exposed to diagnostic medical x-rays. Atlanta, Georgia, Georgia Institute of Technology, 1977. (PhD Thesis).
- 9) COPPOLETTA, J.H. & WOLBACK, S.B. Body length and organ weights of infant and children. Am. J. Path., 9:55-70, 1933.

- 10) DEUS, S.F. & WATANABE, S. Intercomparison of photographic, thermoluminescent and radiophotoluminescent dosimeters. Health Phys., 28:793-99, 1975.
- 11) DEUS, S.F.; POSTON, J.W.; WATANABE, S. Desenvolvimento do fantasma matemático de uma criança de 10 anos de idade para fins de dosimetria interna. São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 1989. (Publicação IPEN-260).
- 12) EMERY, J.L. & MITHAL, A. The weights of kidneys in late intra-uterine life and childhood. J. clin. Path., 13:490-93, 1960.
- 13) EVE, I.S. A review of the physiology of the gastrointestinal tract in relation to radiation doses from radioactive materials. Health Phys., 12:131-61, 1969.
- 14) FABRY, C. Schéma anatomo-physiologique du tractus gastro-intestinal, a prendre en consideration pour le calcul des niveaux de contamination radioactive. Brussels, Belgium. European Atomic Energy Community, 1963. (EUR-489f).
- 15) FISHER JR., J.L. & SNYDER, W.S. Variation of dose delivered by ^{137}Cs as a function of body size from infancy to adulthood. In: HEALTH Physics Division annual progress report for period ending July 31, 1966. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Lab., Oct. 1966. (ORNL-4007). p.221-28.
- 16) FORD, M.R.; SNYDER, W.S.; WARNER, G.G. Variation of the absorbed fraction with shape and size of the thyroid. In: HEALTH Physics Division annual progress report for period ending June 30, 1975. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Lab., Sep. 1975. (ORNL-5046). p.207-13.

- 17) GARDNER, E.; GRAY, D.J.; O'RAHILLY, R. Anatomy: a regional study of human structure. 2.ed. Philadelphia, W.B. Saunders, 1963.
- 18) GARRY, S.M.; STANSBURY, P.S.; POSTON, J.W. Measurements of absorbed fractions for photon sources distributed uniformly in various organs of a heterogeneous phantom. In: HEALTH Physics Division annual progress report for period ending July 31, 1974. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Lab., Sep. 1974. (ORNL-4979). p.33-39.
- 19) GRAY, H. Anatomy of the human body. 27 ed. Philadelphia, Lea & Febiger, 1959
- 20) GREENHOUSE JR., N.A.; MAILLIE, H.D.; MERMAGEN, H. A thermoluminescent microdosimetry system for the measurement of photon quality. Radiat. Res., 32:641-50, 1967.
- 21) HEIGHT and Weight of children in the United States, India and the United Arab Republic. Rockville, Maryland. U.S. Department of Health, Education and Welfare, Sep. 1970. (Series 3, number 14).
- 22) INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Report of the task group on reference man. Oxford, 1975. (ICRP-23).
- 23) JOHNS, H.E. & CUNNINGHAM, J.R. The physics of radiology. 3.ed. Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 1971.
- 24) KROGMAN, W.M. Growth of man. In: DENZER, H.; KONINGSBERGER, V.J.; VONK, H.J. eds. Tabulae biological. Den Haag, Netherlands, Groetschell, 1941. v.20, p.655-660. :
- 25) McCAMMON, R.W. Human growth and development. Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 1970.

- 26) MEI, N.H.; WARNER, G.G.; STANBURY, P.S.; POSTON, J.W. Effect of source organ size on absorbed fraction distribution. In: HEALTH Physics Division annual progress report for period ending June 30, 1975. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Lab., Sep., 1975. (ORNL-5046). p.234-38.
- 27) MORGAN, K.Z. & TURNER, J.E. Principles of radiation protection. New York, John Wiley, 1968.
- 28) NELSON, W.E. Physical growth and development: textbook of pediatrics. Philadelphia, W.B. Saunders, 1959.
- 29) OSGOOD, E.E. Development and growth of hematopoietic tissues with a clinically practical method of growth analysis. Pediatrics, 15:733-51, 1955.
- 30) POSTON, J.W. Comunicação pessoal.
- 31) PRYOR, H.B. Charts of normal body measurements and revised width-weight tables in graphic form. J.Pediat., 68:621, 1966.
- 32) ROSENSTEIN, M. Organ doses in diagnostic radiology. Rockville, Maryland, U.S. Department of Health, Education and Welfare, May 1976. (FDA-76-8030).
- 33) SCAMMON, R.E. The developmental anatomy of the chest and the thoracic organs. In: MYERS, J.A., ed. The normal chest of the adult and the child. Baltimore, Williams and Wilkins, 1927. p.300-35.
- 34) SCAMMON, R.E. The growth of the human reproductive system. In: GREEKWOOD, A.M., ed. Second international congress for sex research, London, 1930. p.118-23.

- 35) SCAMMON, R.E. The measurement of the body in childhood.
In: HARRIS, J.A.; JACKSON, C.M.; PETERSON, D.G.; SCAMMON, R.E.,
eds. The measurement of man. Minneapolis, Univ. of Minnesota,
1930. p.173-215
- 36) SCAMMON, R.E. Some graphs and tables illustrating the growth of
the human stomach. Am. J. Dis. Child., 17:395-422, 1919.
- 37) SCHLEIEN, B. A review of determinations of radiation dose to the
active bone marrow from diagnostic x-ray examination. Rockville,
Maryland, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Oct.
1973. (FDA-74-8007).
- 38) SHUBERT, J. & LAPP, R.E. Radiation: what it is and how it can
affects you. (s.l.), Viking, 1975.
- 39) SMIT, P.J. Anthropometric status of white swimmers from Pretoria.
Med. J., 47:385-89, 1973.
- 40) SNYDER, W.S. Comunicação pessoal.
- 41) SNYDER, W.S.; FORD, M.R.; WARNER, G.G. Estimation of dose and
dose commitment to bladder wall from a radionuclide present in
urine. In: HEALTH Physics Division annual progress report for
period ending July 31, 1970. Oak Ridge National Lab., Oct. 1970.
(ORNL-4584). p.206-08.
- 42) SNYDER, W.S.; FORD, M.R.; WARNER, G.G.; WATSON, S.B.
A tabulation of dose equivalent per microcurie day for source
and target organs of an adult for various radionuclides. Oak
Ridge, Tenn., Oak Ridge National Lab., Nov. 1974. (ORNL-5000).

- 43) SNYDER, W.S.; POSTON, J.W.; WARNER, G.G.; OWEN, L.W. Dose to a dynamic bladder for administered radionuclides. In: HEALTH Physics Division annual progress report for period ending July 31, 1974. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Lab., Sep. 1974. (ORNL-4979). p.13-16.
- 44) STANSBURY, P.S. Health and Safety Research Division manual for the x-ray facility in Building 2008. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Lab., Nov. 1977. (ORNL/TM-5923).
- 45) STANSBURY, P.S. In-phantom spectrometry of medical diagnostic x-ray. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Lab., Oct. 1977. (ORNL/TM-5873).
- 46) STOUT, H.W.; DAMON, A.; McFARLAND, R.A. Heights and weights of white Americans. Hum. Biol., 32:334, 1960.
- 47) WAGNER JR., H.N. Nuclear medicine. New York, N.Y., HP.Publishing, 1975.
- 48) WARWICK, R. & WILLIAMS, P.L. Gray's anatomy. 35.ed. Philadelphia, W.B. Saunders, 1973.
- 49) WELLMAN, H.N.; KERETAKES, J.G.; BRANSON, B.M. Total and partial body counting of children for radiopharmaceutical dosimetry data. In: CLOUTIER, R.J.; EDWARDS, C.L.; SNYDER, W.S., eds. Medical radionuclides: radiation dose and effects: proceedings of a symposium held at the Oak Ridge Associated Universities, December 8-11, 1969. Oak Ridge, Tenn., United States Atomic Energy Commission, Jun. 1970. (AEC Symposium series 20; CONF. 691212). p.133-56.
- 50) KOLANKI, N. A new graphic method for the evaluations of the tempo and harmony of physical growth of children. Hum. Biol., 33:284, 1961.

51) WOODARD, H.Q. & HOLODNY, E. A summary of the data of Mechanik
on the distribution of human bone marrow. Physics Med. Biol.,
5(1):57-9, 1960.