



**CÁLCULO DE MONTE CARLO DA DOSE EQUIVALENTE  
RECEBIDA POR UM FETO HUMANO DE FONTES GAMA  
LOCALIZADAS NO TRATO-GASTROINTESTINAL**

Vera Silvia Araujo Segreto

DISSERTAÇÃO E TESE - IEA 136  
IEA - DT - 136

FEVEREIRO/1979

## **CONSELHO DELIBERATIVO**

### **MEMBROS**

Klaus Reinach - Presidente  
Roberto D'Utra Vaz  
Helcio Modesto da Costa  
Ivano Humbert Marchesi  
Admar Cervellini

### **PARTICIPANTES**

Regina Elisabete Azevedo Beretta  
Flávio Gori

### **SUPERINTENDENTE**

Rômulo Ribeiro Pieroni

**CÁLCULO DE MONTE CARLO DA DOSE EQUIVALENTE  
RECEBIDA POR UM FETO HUMANO DE FONTES GAMA  
LOCALIZADAS NO TRATO-GASTROINTESTINAL**

Vera Silvia Araujo Segreto

**Dissertação para obtenção do Título de "Mestre -  
Área Tecnologia Nuclear" - Orientador Prof. Dr.  
Gian-Marie A. A. Sordi. Apresentada e defendida em 01  
de setembro de 1978, no Instituto de Energia Atômica.**

**Série DISSERTAÇÃO E TESE IEA**

**INIS Categories and Descriptors**

**D15**

**Fetuses**

**Pregnancy**

**Uterus**

**Gastrointestinal tract**

**Internal irradiation**

**Radiation doses**

**Dose equivalents**

**Monte Carlo method**

# SUMÁRIO

Página

## CAPÍTULO 1

1.1 – Considerações Gerais .....	1
1.2 – Objetivo do Presente Trabalho e sua Importância .....	3
1.3 – Conceituação do “Homem Referência” .....	4
1.4 – Modelo Matemático do “Homem Referência” .....	5
1.5 – Conceituação da “Mulher Referência” .....	5
1.6 – A “Mulher Referência” no Período de Gestação .....	8

## CAPÍTULO 2

2.1 – Dificuldade na Concretização do Objetivo .....	9
2.2 – Equações Matemáticas Utilizadas .....	10
2.3 – Cálculo da Dose Absorvida .....	15
2.4 – Cálculo da Dose Equivalente .....	18
2.5 – Cálculo da Fração Absorvida .....	19
2.6 – O Método de Monte Carlo .....	19

## CAPÍTULO 3

3.1 – Relações Anatômicas da Cavidade Abdominal – Anatomia .....	22
3.2 – Relações Anatômicas Abdominais na Evolução da Gravidez .....	23
3.3 – Modelos Matemáticos dos Órgãos Abdominais e Útero Grávido na Evolução da Gravidez ..	23
3.3.1 – Primeiro Trimestre .....	23
3.3.2 – Segundo Trimestre .....	25
3.3.3 – Terceiro Trimestre .....	27
3.4 – Cálculo da Dose .....	31

## CAPÍTULO 4

Resultados Obtidos .....	35
--------------------------	----

## CAPÍTULO 5

Discussões e Conclusões .....	55
-------------------------------	----

	<b>Página</b>
5.1 – Primeiro Trimestre .....	56
5.2 – Segundo Trimestre .....	58
5.3 – Terceiro Trimestre .....	61
 <b>CAPÍTULO 6</b>	
Sugestões para Futuros Trabalhos .....	62
 <b>CAPÍTULO 7</b>	
Partes Originais do Trabalho .....	62
 <b>APÊNDICE A</b>	
Equações Matemáticas dos Órgãos Componentes do Trato-Gastrointestinal para o "Homem Referência" .....	64
 <b>APÊNDICE B</b>	
Cálculo do Volume dos 12 Compartimentos em que se Dividiu o Útero .....	66
 <b>APÊNDICE C</b>	
Programa de Computação: Subrotina-Fonte .....	70
 <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	 71

1

# CÁLCULO DE MONTE CARLO DA DOSE EQUIVALENTE RECEBIDA POR UM FETO HUMANO DE FONTES GAMA LOCALIZADAS NO TRATO-GASTROINTESTINAL

Vera Silvia Araujo Segreto

## RESUMO

Para se avaliar a exposição à radiação que o feto humano sofre durante a gravidez, são propostas e analisadas em detalhes novas posições do útero com relação a fontes radioativas localizadas no trato-gastrointestinal. Para estes cálculos foram considerados separadamente os órgãos componentes do trato-gastrointestinal, a saber, estômago, intestino delgado, colon transverso, colon ascendente, colon descendente, colon sigmóide e reto. Com o crescimento do útero, estudamos a variação de posição de cada um destes órgãos.

Foram considerados os casos em que o útero encontra-se em três, seis e nove meses de gravidez e para fótons com energia, de 0,02, 0,05, 0,10, 0,50 e 4 MeV. Foram calculadas as doses equivalentes médias ( $\bar{H}$ ) no feto, na parede uterina e em cada um dos doze compartimentos em que dividimos o útero. Por fim, discutimos os resultados obtidos. (Autor)

## CAPÍTULO 1

### 1.1 – Considerações Gerais

A proteção radiológica tem como objetivo a proteção contra as radiações, a higiene, a segurança e o controle das fontes de radiação. Procura dar proteção à humanidade em relação aos perigos potenciais da radiação, permitindo que a mesma possa desfrutar de todos os benefícios que podem originar do uso da energia atômica.

A avaliação dos riscos teve que ser feita através de estudo dos efeitos biológicos da radiação, e a sua correlação com a quantidade de radiação. Para isso era necessário o estabelecimento de unidades de medida da quantidade de radiação.

O órgão internacional encarregado de estabelecê-las é a Comissão Internacional de Unidades e Medidas Radiológicas (I.C.R.U.). As principais unidades de proteção radiológica são<sup>(4,15,18)</sup>:

exposição – é o quociente de  $\Delta Q$  por  $\Delta m$ , onde  $\Delta Q$  é a soma das cargas elétricas de todos os íons de mesmo sinal produzida no ar, quando todos os elétrons liberados pelos fótons num volume elementar de ar, de massa  $\Delta m$ , são completamente freados no mesmo.

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

sua unidade é o "Roentgen" (R), e equivale a  $2,58 \times 10^{-4}$  C/Kg

**Dose Absorvida (D)** — é a energia transferida pela radiação ionizante por unidade de massa da matéria. A sua unidade é o "rad", equivalente a 100 ergs/g.

**Dose Equivalente (H)** — é o produto da dose absorvida pelo fator de qualidade e outros fatores modificadores necessários para caracterizar a eficácia biológica de uma dada dose absorvida. A unidade de dose equivalente é o "rem".

Segundo a última resolução do Bureau Internacional de Pesos e medidas<sup>(9)</sup>, tomada em 01.06.75, o "rad" foi substituído pelo "Gray (Gy)", que é definido como sendo 1 J/kg ou 100 rads.

A Comissão Internacional de Proteção Radiológica (I.C.R.P.)<sup>(23)</sup>, mudou o "rem" para "Sievert (Sv)", mantendo os mesmos fatores de qualidade e modificador<sup>(23)</sup>, usados no "rem", equivalente a 100 rem, ainda a ser endossado pela I.C.R.U., em uma futura publicação.

Segundo o próprio Bureau Internacional de Pesos e Medidas, nos próximos dez anos poder-se-á usar uma ou outra unidade.

Sabemos que a humanidade, desde a sua origem, é submetida a radiação de fundo que é cerca de 100 mrem/ano. Por outro lado sabemos, também que uma dose de algumas centenas de rem é letal, se administrada em curto intervalo de tempo. Em algum ponto entre esses dois níveis, há uma velocidade da taxa de dose que, mesmo que seja absorvida durante muitos anos de vida do trabalhador, produz um dano tolerável, a ser aceito em decorrência de uma vida mais confortável. Desta maneira, o especialista em proteção radiológica deve estabelecer a dose máxima permissível, tanto para trabalhadores em presença de radiação como para os indivíduos do público e população em geral que provocará riscos desprezíveis quando comparados com outros perigos para os seres vivos.

O órgão internacional credenciado para esta tarefa é a I.C.R.P., pois congrega os principais especialistas em proteção radiológica, mas as suas recomendações não são redigidas com o intuito de serem diretamente colocadas em regulamentos internacionais e nacionais. O principal órgão internacional que tem essa tarefa é a Agência Internacional de Energia Atômica (I.A.E.A.) que reexamina as recomendações da I.C.R.P., e as coloca sob forma de regulamentos. O órgão nacional que sanciona e adapta estas normas para o nosso país é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Os principais limites de dose estabelecidos, atualmente em vigor são apresentados na Tabela 1.1<sup>(6,14,21)</sup>.

Para uma trabalhadora em idade de procriação, o limite de dose trimestral é reduzido a 1/4 do limite anual, com aproximação na segunda casa decimal, para mais, e, se a trabalhadora estiver grávida, o limite de dose máxima permissível é reduzido a 1 rem, durante todo o período de gestação, após a diagnose médica. Em recente publicação<sup>(23)</sup> a I.C.R.P. alterou completamente a filosofia dos limites de dose, mas conservou o valor do limite de dose anual para o trabalhador e diminuiu a dose da trabalhadora durante os 7 últimos meses de gravidez para 0,88 rem. Estas normas recentes estão sendo postas em forma de regulamentos pela I.A.E.A. e espera-se que nos últimos meses deste ano já estejam publicados<sup>(27)</sup>.

Para população em geral, o limite de dose é de 5 rem por 30 anos<sup>(6)</sup>.

O especialista em proteção radiológica uma vez de posse das unidades e dos limites de dose, necessita saber como medir e prever essas doses. O conjunto de técnicas de medida e avaliação da dose é a dosimetria que se divide em externa e interna.

À primeira pertencem a dosimetria de área e a dosimetria pessoal. Os instrumentos mais utilizados em dosimetria de área são câmara de ionização, contador Geiger-Müller e detector de cintilação. Os dosímetros pessoais atualmente mais usados são: o dosímetro de bolso, o dosímetro radiofotoluminescente, o dosímetro termoluminescente e o filme dosimétrico.

À segunda, isto é, dosimetria interna, pertencem as medidas "in vivo" e "in vitro". A dosimetria "in vivo" mede o conteúdo de material radioativo que se encontra diretamente no organismo, por meio de um contador de corpo inteiro. Por causa da auto-absorção do próprio organismo só consegue-se medir somente radiação  $\gamma$  ou X, mas atualmente, em vista do aperfeiçoamento da técnica, alguns emissores  $\beta$  podem ser detectados por meio do "Bremsstrahlung" (radiação de freiamento), provocada pelo próprio corpo. Com essa técnica consegue-se medir 90% dos radionuclídeos conhecidos<sup>(13,18)</sup>.

A dosimetria "in vitro" permite medir a radioatividade que se encontra nas excretas do corpo e estas podem ser fezes, urina, suor, saliva, etc, e a partir da qual possibilite calcular o conteúdo de material radioativo no corpo. Tem a desvantagem de ser um método indireto, valendo-se de cálculos para obter o conteúdo de material radioativo nos diferentes órgãos do corpo humano, mas por outro lado, tem a vantagem de poder medir qualquer radionuclídeo, inclusive os emissores  $\alpha$ .

Uma vez conhecida a quantidade de radionuclídeo depositada em um ou mais órgãos do corpo humano, pode-se calcular a dose recebida tanto por esses órgãos como pelas demais regiões do corpo.

Tabela 1.1

## Doses Máximas Permissíveis

	Trabalhador		Indivíduo do Público
	Dose Trimestral (rem)	Dose Anual (rem)	Dose Anual (rem)
Mãos, antebraços, pés e tornozelos	40	75	7,5
Osso, tireóide, a pele do corpo inteiro (excluindo-se pele das mãos, antebraços, pés e tornozelos).	15	30	3
Qualquer outro órgão isolado, excluindo-se gônadas e órgãos hematopoiéticos	8	15	1,5
Gônadas, órgãos hematopoiéticos e corpo inteiro	3	5	0,5

## 1.2 – O Objetivo do Presente Trabalho e sua Importância

Este trabalho tem por finalidade:

- 1) estudar a variação da posição das diferentes regiões que compõem o sistema gastrointestinal e demais órgãos vizinhos, através da melhora do modelo matemático de desenvolvimento do útero e feto, durante o período de gestação.

- 2) determinar as doses de radiação recebida pelo feto, quando o material radioativo, emissor  $\gamma$ , se encontra no sistema trato-gastrointestinal<sup>(26)</sup>.

A importância deste trabalho está ligada ao fato que as duas principais vias de eliminação de material radioativo são a urina e as fezes.

Neste trabalho estudaremos a via fecal, pois a via urinária já foi estudada por Cloutier<sup>(5)</sup>.

A aplicação deste método permitirá fazer uma avaliação da dose recebida pelo embrião ou feto quando a mãe ingere material radioativo.

Pode-se dar inclusive as doses recebidas pelas diferentes regiões anatômicas do feto, permitindo que se tome uma decisão médica mais acertada quanto à evolução da gravidez, em caso de acidentes nucleares.

### 1.3 – Conceituação do "Homem Referência"

Para se estimar a dose no corpo humano, tanto de fontes externas como internas, é necessário ter às mãos uma certa quantidade de dados sobre a pessoa exposta. No caso de fontes externas, simples especificações de massa, dimensões e composição elementar dos órgãos e dos tecidos de interesses são suficientes para a maioria das situações.

No caso de exposição interna, além dos dados necessários às fontes externas precisamos também saber quais as vias de acesso, e informações a respeito da metabolização do radionuclídeo.

Além disso, a dose que o órgão receptor do material vai receber, dependerá da concentração do radionuclídeo. Em vista disto, a I.C.R.P. viu-se na contingência de criar um homem modelo, que representasse um valor médio. Neste estudo participaram os Estados Unidos, Canadá e Inglaterra, o homem modelo, que passou a se chamar "homem referência", tem características do homem norte-americano e europeu. Assim mesmo, em vista da falta de dados específicos, os demais países incluindo o Brasil (CNEN), consideram este "homem referência" para efeito de estudo e cálculo.

Daremos a seguir as principais características do homem referência<sup>(24)</sup>.

massa .....	70 Kg
altura .....	1,70 m
ar respirado .....	$2 \times 10^3 \text{ cm}^3/\text{dia}$ ou $7.200 \text{ m}^3/\text{ano}$
água ingerida .....	2,5 l/dia ou 900 l/ano

A água ingerida por dia é assim distribuída: 1 litro provém dos alimentos, 1,2 l é ingerida em sua forma líquida direta e 0,3 l advém dos fenômenos de oxidação. Quanto ao ar respirado supõem-se que nas 8 horas de trabalho ele respire metade da quantidade diária.

A I.C.R.P. considera que temos 3 tipos diferentes de tecidos, a saber: esqueleto, tecido mole e pulmão. Estes tecidos são compostos principalmente de H, C, N e O. Para o esqueleto, a estes elementos deve-se acrescentar outros elementos em cerca de 18% da massa total, de massa atômica mais elevada. Entre eles, os principais são Ca e P.

O esqueleto, pelo I.C.R.P., é considerado um órgão homogêneo.

O pulmão é considerado em separado do tecido mole, pois não contém gordura.

As densidades destes 3 tipos de tecido: esqueleto, tecido mole e pulmão são respectivamente,  $1,4862 \text{ g/cm}^3$ ,  $0,9869 \text{ g/cm}^3$  e  $0,2958 \text{ g/cm}^3$ .

Além disso a I.C.R.P. fornece as dimensões e forma de cada órgão que constitui o corpo humano e fornece as porcentagens de cada elemento químico constituinte, bem como sua densidade.

#### 1.4 – Modelo Matemático do “Homem Referência”

Uma vez estabelecido o “homem referência” pela I.C.R.P., era necessário, para o cálculo de doses previsíveis nos diferentes órgãos, exprimi-lo em termos matemáticos. Para tanto é necessário associar aos diferentes órgãos, formas geométricas que sejam próximas dos órgãos reais. Neste item, descrever-se-á o simulador matemático do “homem referência” como definido por Snyder et al<sup>(24)</sup> e que é atualmente o mais empregado em pesquisa.

Este modelo é amplamente usado para o cálculo de dose no método de Monte Carlo.

O simulador é constituído de 3 secções principais (Figura 1.1) a saber:

- um cilindro elíptico que representa os membros superiores, o tronco e a cintura pélvica;
- dois cones elípticos truncados, que representam os membros inferiores. Na parte superior foi acrescido um elipsóide para representar os testículos;
- um cilindro elíptico que representa a região do pescoço e a parte inferior da cabeça. A parte superior é representada por meia elipsóide.

Pela Figura 1.1, observa-se que os membros superiores não estão separados do tronco e os órgãos externos menores, tais como dedos, pés, olhos, queixo e nariz são omitidos.

Para exprimir estas secções e os órgãos que a compõem, por equações matemáticas, foi necessário estabelecer a origem de um sistema de coordenadas. A origem foi escolhida no centro da base do tronco e tem seu eixo Z na direção longitudinal com semi eixo positivo no sentido da cabeça, o eixo Y no sentido ântero-posterior com semi-eixo positivo para parte posterior, o eixo X no sentido látero-lateral com semi-eixo positivo para a esquerda do modelo. Internamente os órgãos são definidos como sub-regiões do simulador (Figura 1.2).

#### 1.5 – Conceituação da “Mulher Referência”

Como a mulher, na vida atual participa ativamente do trabalho com radiação e portanto está exposta tanto externa como internamente à radiação e apresenta diferenças anatômicas com relação ao homem, criou-se um modelo de “mulher referência”.

Assim sendo, com base no modelo do “homem referência” foi elaborado um modelo matemático para a “mulher referência”. Foi suposto que a “mulher referência” tivesse a mesma densidade do “homem referência” ( $\rho = 0,9869 \text{ g/cm}^3$ ), só que a massa será de 58 kg em vez de 70 kg.

Em virtude disso todos os órgãos foram diminuídos proporcionalmente.

Exemplificando matematicamente, temos

$$m_m = \rho V_m \quad (1.1)$$

$$m_h = \rho V_h \quad (1.2)$$

onde  $m_m$  e  $m_h$  representam as massas da mulher e do homem respectivamente.

$\rho$  a sua densidade e  $V_m$  e  $V_h$  representam os seus volumes.

Dividindo (1.1) e (1.2) membro a membro vem

$$\frac{m_m}{m_h} = \frac{V_m}{V_h} \quad (1.3)$$

ou

$$\frac{L_m^3}{m_m^3} = \frac{L_h^3}{m_h^3}$$

ou

$$L_m = \sqrt[3]{\frac{m_m}{m_h}} \times L_h = 0,94 L_h \quad (1.4)$$

Portanto os órgãos da "mulher referência" são obtidos a partir dos do "homem referência" reduzido pelo fator obtido em (1.4).

Atualmente, as pesquisas procuram aperfeiçoar o modelo da "mulher referência", pois sabe-se que existem diferenças anatômicas entre o homem e a mulher, como dimensões da cintura pélvica, razão de comprimento do tronco com relação as pernas, mamas, etc.

### 1.6 – A "Mulher Referência" no Período de Gestação

Como a mulher está exposta à radiação na idade de procriação, tanto em situações normais de trabalho como em acidentes, tornou-se necessário estudar o estado particular da mulher grávida, pois tanto ela quanto a futura criança serão irradiados.

Cloutier et al<sup>(5)</sup>, elaboraram um modelo matemático das variações do útero, quanto a forma, tamanho e posição durante o período de gravidez, para calcular a dose no útero e feto, quando o radionuclídeo se encontra na bexiga da gestante.

Para tanto propuseram que a bexiga se encheria numa taxa constante até chegar ao volume de 300 ml, quando ocorreria a liberação do líquido. A dose média, em rads/fótons foi calculada para fótons monoenergéticos de 0,02; 0,03; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 4 MeV.

Com a finalidade de calcular a dose em diferentes regiões do feto, foi o mesmo dividido em 12 compartimentos (Figura 1.3). Verificaram que a dose média por fóton para cada compartimento decresce com o aumento do tamanho do útero. A taxa de dose mais alta na parede uterina ocorre no ponto em que ele toca a bexiga. Ponto este que varia durante o alargamento do útero, isto é, durante o período de gestação.

A dose equivalente recebida pelo feto foi obtida utilizando o método de Monte Carlo, que será descrito no decorrer da apresentação deste trabalho.

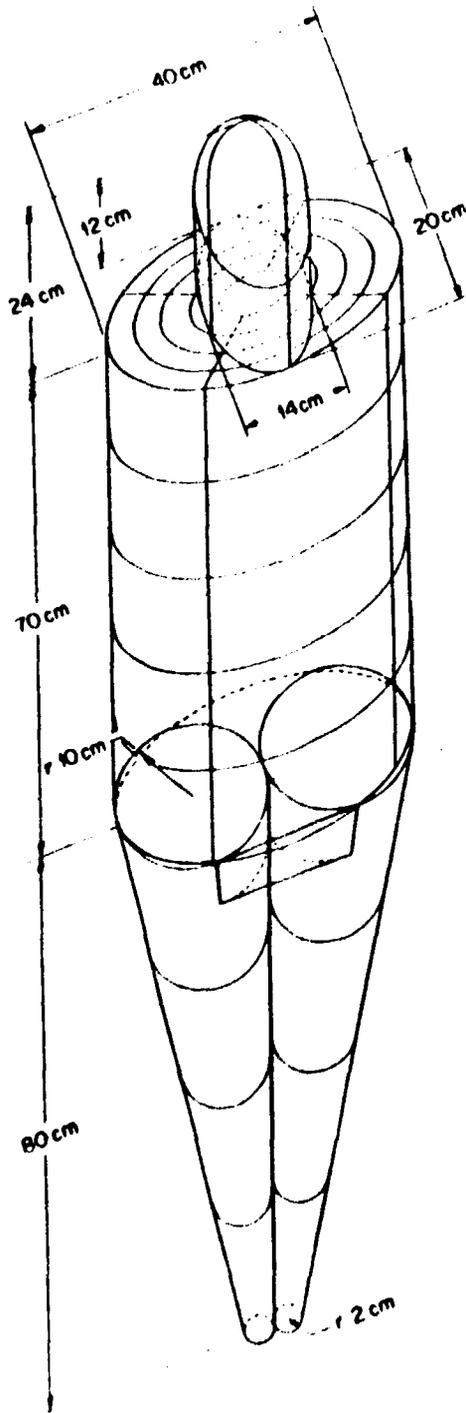


Figura 1.1 - Modelo geométrico de um simulador.

Órgãos não relacionados

- supra renais
- estômago
- medula óssea
- pâncreas
- pele
- baço
- ovários
- testículos
- timo
- tireoide
- útero
- membros inferiores (parte óssea)

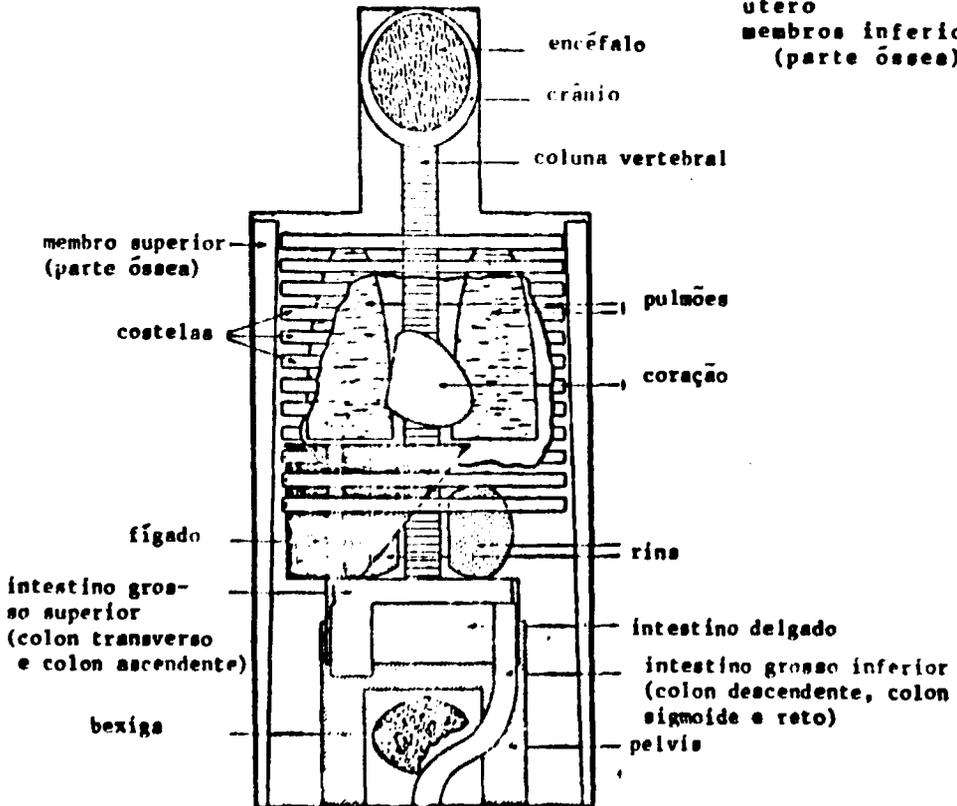


Figura 1.2 -- Vista anterior dos principais órgãos de cabeça e tronco do simulador.

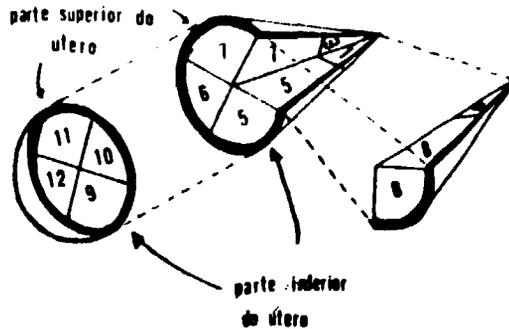


Figura 1.3 – Regiões de dose do útero e cavidade uterina.

## CAPÍTULO 2

### 2.1 – Dificuldades na Concretização do Objetivo

As principais dificuldades para alcançar o primeiro objetivo do presente trabalho estão em se determinar um valor médio de crescimento do útero e estudar quais seriam os órgãos vizinhos deslocados durante este crescimento, e que portanto, teriam suas posições e formas alteradas em relação ao modelo inicial da "mulher referência".

Após uma série de consultas a livros obstétricos, verificamos que o útero não sai da cavidade pélvica durante os três primeiros meses, afetando então unicamente os órgãos que nela se encontram.

A partir do quarto mês, ele invade a cavidade abdominal em direção ao umbigo e começa a pressionar os órgãos que se encontram nessa cavidade, tanto na sua parte superior como lateral direita, mas não chega ainda a pressionar o estômago.

A partir do sétimo mês, o estômago e os órgãos da cavidade abdominal, que se encontram na lateral esquerda, também começam a ser pressionados.

Em virtude destas constatações, havemos por bem dividir este trabalho em função destes crescimentos trimestrais.

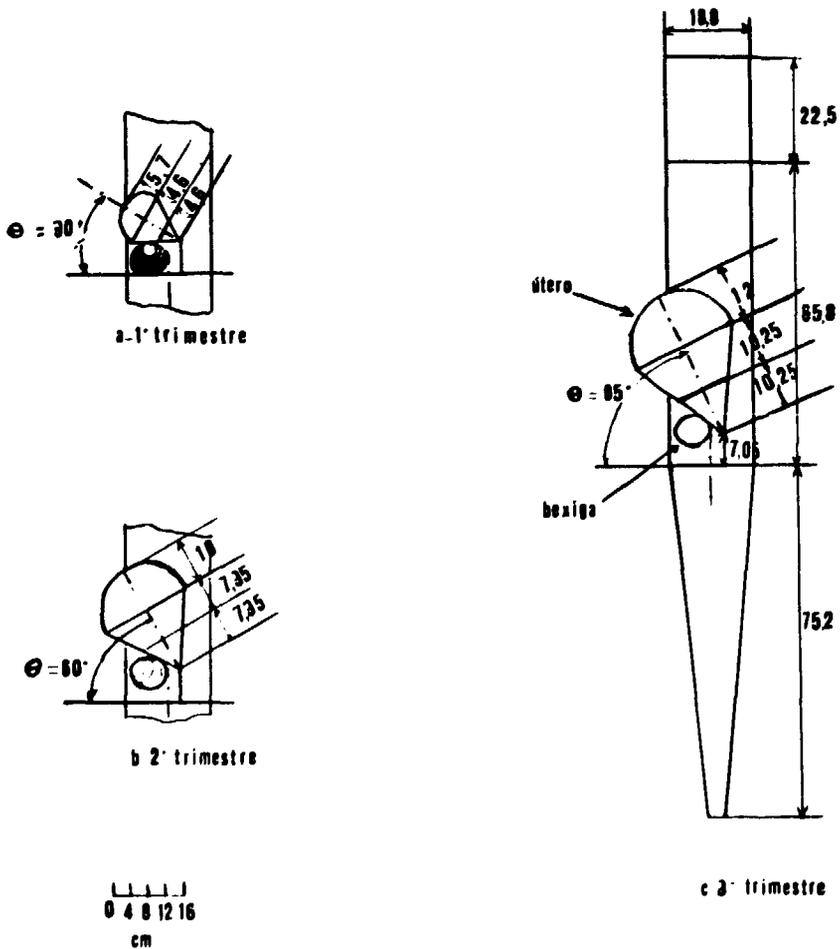
A dificuldade que tivemos que vencer a seguir, foi determinar as novas coordenadas naqueles órgãos afetados, em virtude de seu deslocamento.

Quanto ao cálculo da dose no feto, a dificuldade está em se determinar as coordenadas de cada um dos 12 compartimentos em que ele foi dividido.

**2.2 – Equações Matemáticas Utilizadas**

Como no modelo do útero e do feto, durante o período de gravidez, tomou-se aquele de Cloutier et al<sup>(5)</sup>, citado no item 1.6. Isto é, o útero definido geometricamente por um cone associado a uma semi-esfera, em sua base e com o vértice localizado na parte inferior do tronco cilíndrico.

Segundo Cloutier<sup>(5)</sup>, o menor ângulo de inclinação entre a superfície inferior do cone que compõe o útero e o eixo de coordenadas Y é de 30° para o 3º mês, 60° para o 6º mês e 65° para o 9º mês, ver Figura 2.1.



**Figura 2.1 – Modelo geométrico do útero para o 1º (a), 2º (b) e 3º (c) trimestre de gravidez, estabelecido por Cloutier<sup>(5)</sup>.**

Estudando vários textos obstétricos<sup>(3,11)</sup>, verificamos que o menor ângulo de inclinação no 2º trimestre de gravidez é sensivelmente menor do que o usado por Cloutier<sup>(5)</sup> e segundo Netter<sup>(19)</sup> seria cerca de 20º menor. Em vista disso realizamos cálculos para obter os menores ângulos de inclinação que serão respectivamente de 33º, 44º e 40º.

Este último decresceu em relação ao 6º mês pois, consideramos o abaixamento do útero, que ocorre cerca de 15 dias antes do parto. Desta maneira, mantendo uma altura máxima do útero de 37 cm, este encostaria na parte inferior do músculo diafragma em Z = 40 cm. Também a partir do 2º trimestre, o vértice do cone assume uma forma semi-esférica causada pelo feto que, em consequência do seu crescimento, ocupa a região próxima ao vértice (Figura 3.4).

Na Figura 2.2 apresentamos o novo modelo do útero nos meses de crescimento pré-selecionados.

A altura do cone e o raio, que é comum a semi-esfera, variam durante o crescimento.

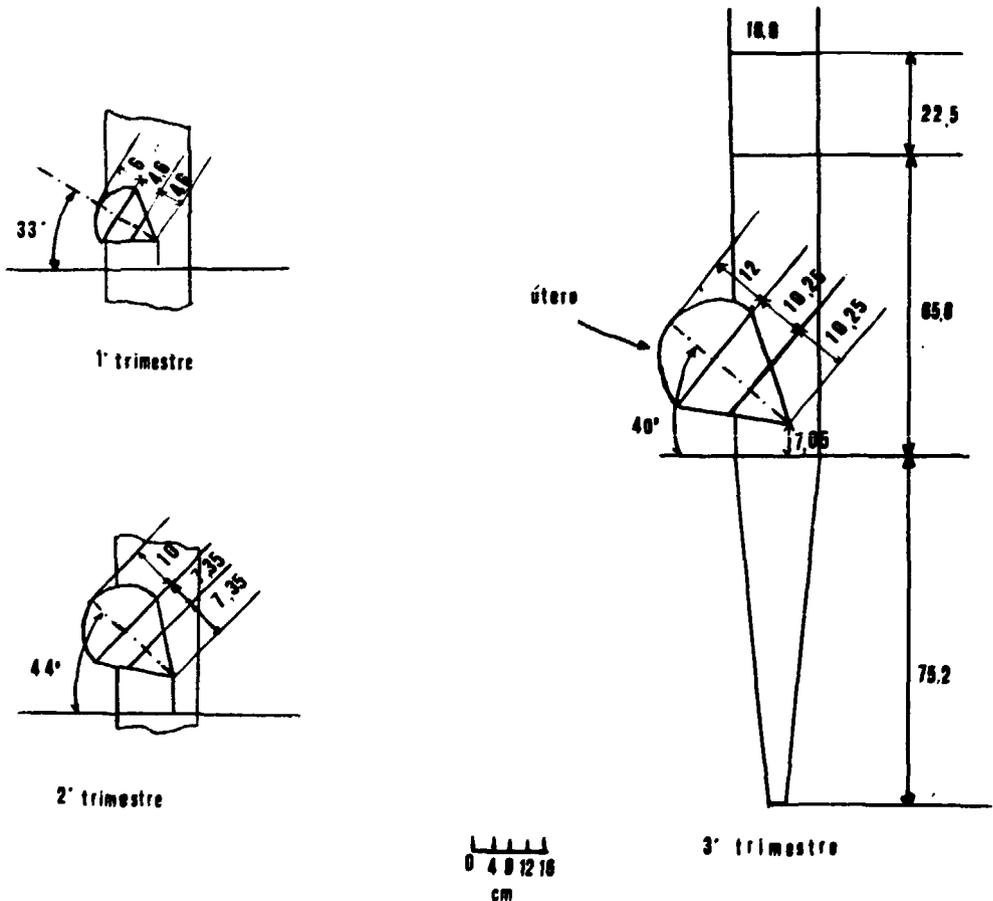


Figura 2.2 – Modelo do útero para 3º, 6º e 9º mês de gravidez, conforme novo posicionamento do útero.

A seguir, apresentamos, na Tabela II.1, os dados de inclinação e dimensões do útero no 3º, 6º e 9º mês de gravidez.

O modelo do trato-gastrointestinal é baseado no modelo definido por Snyder et al<sup>(28)</sup>, levando-se em conta a correção necessária para o caso específico da "mulher referência" e também a variação dos órgãos formadores do trato-gastrointestinal, com o crescimento do útero<sup>(11)</sup>.

**Tabela II.1**

**Principais Características do Útero Durante o seu Crescimento**

	3º mês	6º mês	9º mês
Inclinação	33°	44°	40°
Altura do cone	9,2 cm	14,7 cm	20,5 cm
Raio da semi-esfera	6 cm	10 cm	12 cm

O modelo estabelecido por Snyder obedece o modelo da I.C.R.P., onde o intestino grosso superior é dividido em colon ascendente e colon transverso e o intestino grosso inferior em colon descendente, colon sigmóide e reto.

A Tabela II.2 mostra os órgãos e suas subdivisões (Figura 2.3).

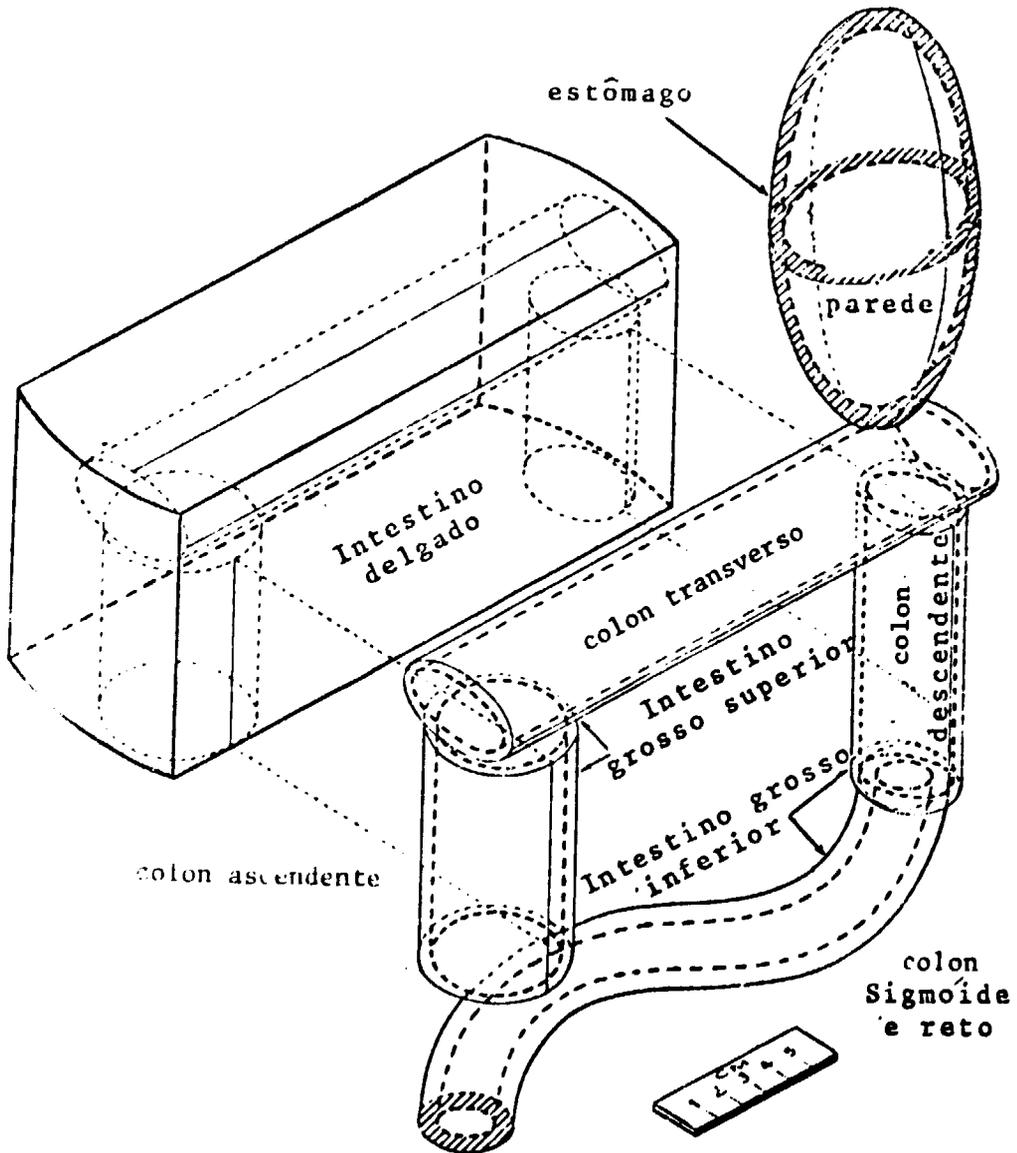
**Tabela II.2**

**Órgãos Componentes do Trato-Gastrointestinal**

Estômago (E)	
Intestino Delgado (ID)	{ Colon Ascendente (CA) Colon Transverso (CT)
Intestino Grosso Superior	
Intestino Grosso Inferior	{ Colon Descendente (CD) Colon Sigmóide e Reto (SR)

As equações dos órgãos componentes do trato-gastrointestinal para o "homem referência" estão relatados no Apêndice A, e aqui reproduzimos as da "mulher referência", que foram calculadas a partir das mesmas, levando em conta o fator 0,94 em suas dimensões, calculadas no item 1.5.

O estômago é representado pelo espaço situado entre 2 elipsóides, a saber:



**Figura 2.3** – Modelo geométrico para o trato-gastrointestinal (T.G.I.).

$$\left(\frac{x - 7,52}{3,76}\right)^2 + \left(\frac{y + 3,76}{2,82}\right)^2 + \left(\frac{z - 32,9}{7,52}\right)^2 < 1$$

e

$$\left(\frac{x - 7,52}{3,18}\right)^2 + \left(\frac{y + 3,76}{2,24}\right)^2 + \left(\frac{z - 32,9}{6,94}\right)^2 < 1$$

A espessura da parede do estômago é de 0,58 cm. O volume da parede é igual a 142,8 cm<sup>3</sup> e a massa a 141 g. O conteúdo do estômago tem um volume de 235,2 cm<sup>3</sup> e a sua massa de 233 g. O estômago é considerado cheio, e em caso contrário, para uma mesma atividade de um radionuclídeo, a taxa de dose pode variar muito, dependendo do espaço ocupado pelo ar e pelo alimento.

O intestino delgado aparentemente não permanece numa "posição padrão", exceto nas extremidades, que são relativamente fixas. Ele é considerado como ocupando um volume no qual pode se mover. Não foi feita nenhuma tentativa para determinar uma configuração específica portanto, a parede e o conteúdo não são diferenciados para estimativa de dose provocada pelo fóton. A parede do intestino delgado tem uma massa de 601,6 g e seu conteúdo de 376 g. Logo, a massa total é de 977,6 g e seu volume 990,8 cm<sup>3</sup>. Este volume que, está na região da pelve, é uma secção circular cilíndrica, definida por:

$$x^2 + (y + 3,57)^2 < (10,62)^2$$

$$- 4,57 < y < 2,07$$

$$15,98 < z < 25,38$$

sendo omitida a parte do intestino grosso que entra nesta região. A espessura da parede é variável de 0,28 a 0,38 cm, e a espessura do duodeno aproximadamente 1/10 destes valores.

O intestino grosso superior é constituído pelo colon ascendente e colon transverso.

O colon ascendente é definido pelas inequações:

$$(x + 7,99)^2 + (y + 2,22)^2 < (2,35)^2$$

$$(x + 7,99)^2 + (y + 2,22)^2 > (1,68)^2$$

$$13,58 < z < 22,58$$

O volume total da parede é de 85,75 cm<sup>3</sup> e a massa da parede é de 84,62 g.

As inequações

$$(x + 7,99)^2 + (y + 2,22)^2 < (1,68)^2$$

$$13,58 < z < 22,58$$

definem o conteúdo do colon ascendente. Seu volume é de 90,46 cm<sup>3</sup> e sua massa igual a 80,33 g, e para uma espessura de parede de 0,67 cm.

O colon transverso é uma secção elíptica cortada e definida por:

$$\left(\frac{y + 2,22}{2,35}\right)^2 + \left(\frac{z - 23,97}{1,41}\right)^2 < 1$$

$$\left(\frac{y + 2,22}{1,85}\right)^2 + \left(\frac{z - 23,97}{0,91}\right)^2 > 1$$

$$- 9,87 < x < 9,87$$

O volume da parede é de 113,46 cm<sup>3</sup> sua massa de 112,05 g e a espessura é da ordem de 0,49 cm. Seu conteúdo é especificado por

$$\left(\frac{y + 2,22}{1,85}\right)^2 + \left(\frac{z - 23,97}{0,91}\right)^2 < 1$$

$$-9,87 < x < 9,87$$

com um volume de 119,1 cm<sup>3</sup> e uma massa de 117,5 g.

O intestino grosso inferior é formado pelo colon descendente, pelo colon sigmóide e reto.

O colon descendente é descrito por meio das seguintes inequações:

$$\left(\frac{x - x_0}{1,77}\right)^2 + \left(\frac{y - y_0}{2,60}\right)^2 < 1$$

$$\left(\frac{x - x_0}{1,48}\right)^2 + \left(\frac{y - y_0}{1,26}\right)^2 > 1$$

$$8,19 < z < 22,56$$

onde  $x_0 = 8,46 + 0,02(z - 22,56)$

$$y_0 = 0,16(8,19 - z)$$

O colon descendente apresenta um volume de 85,15 cm<sup>3</sup> e uma massa de 84,04 g. A espessura da parede varia de 0,28 a 0,74 cm.

O colon sigmóide e o reto são definidos pelas inequações:

Parte superior

$$(\sqrt{(x - 2,82)^2 + (z - 8,2)^2} - 5,38)^2 + y^2 < (1,48)^2$$

$$(\sqrt{(x - 2,82)^2 + (z - 8,2)^2} - 5,38)^2 + y^2 > (0,68)^2$$

$$x \leq 2,82 \text{ e } z \leq 8,2$$

Parte inferior

$$(\sqrt{(x - 2,82)^2 + z^2} - 2,82)^2 + y^2 > (0,86)^2$$

$$(\sqrt{(x - 2,82)^2 + z^2} - 2,82)^2 + y^2 < (1,48)^2$$

$$x < 2,82 \text{ e } z > 0$$

O volume do colon sigmóide e reto é de 66,20 cm<sup>3</sup> e sua massa de 65,3 g.

O útero normal da "mulher referência" é definido por um elipsóide cortado por um plano e é dado por:

$$\left(\frac{x}{2,35}\right)^2 + \left(\frac{y + 1,88}{4,7}\right)^2 + \left(\frac{z - 13,16}{1,41}\right)^2 < 1$$

$$y > -4,23$$

Tem volume de 62,3 cm<sup>3</sup> e uma massa de 61,47 g.

### 2.3 – Cálculo da Dose Absorvida

Para se poder calcular a dose absorvida, para meios homogêneos, em rads, é necessário introduzir o conceito de fração absorvida ( $\psi$ ).

Este foi definido, para fótons, por Ellet et al<sup>(7,8)</sup> como:

$$\psi = \frac{\text{energia fotônica absorvida pelo alvo}}{\text{energia fotônica emitida pela fonte}} \quad (2.1)$$

onde o alvo pode ou não englobar a fonte e, esta por sua vez, pode ser um ponto, um segmento, uma superfície ou um volume.

A quantidade de energia fotônica depende da fração de fótons emitidos por desintegração, de sua energia e da atividade da fonte, mas um radionuclídeo apresenta um espectro  $\gamma$  discreto, tendo o  $i$ -ésimo componente energia  $E_i$  e o número médio  $F_i$  de fótons por desintegração. Considerando este componente  $i$ , é possível especificar uma constante  $\Delta_i$  -- constante de dose absorvida de equilíbrio<sup>(19)</sup> -- que fornece a energia total emitida por esse componente em  $\frac{g \times rad}{\mu Ci \times h}$ .

$$\Delta_i = 1,602 \times 10^{-6} \frac{\text{erg}}{\text{MeV}} \times 10^{-2} \frac{\text{rad}}{\text{erg}} \times g \times F_i \frac{\text{fóton}}{\text{desint.}} E_i \times \frac{\text{MeV}}{\text{fóton}}$$

$$\Delta_i = 1,602 \times 10^{-8} F_i \times E_i \times \frac{g \times rad}{\text{desint.}}$$

$$\Delta_i = 1,602 \times 10^{-8} \times F_i \times E_i \frac{g \times rad}{\text{desint.}} \times 3,7 \times 10^4 \frac{\text{desint/s}}{\mu Ci} \times 3,6 \times 10^3 \frac{s}{h}$$

$$\Delta_i = 2,13 \times F_i \times E_i \frac{g \times rad}{\mu Ci \times h}$$

Sendo  $N_r$  a atividade global no órgão fonte, a energia fotônica emitida será dada por  $N_r \Delta_i$  e portanto

$$\psi_i \leftrightarrow \frac{\text{energia fotônica absorvida pelo alvo}}{N_r \cdot \Delta_i}$$

Aplicando o formalismo de Loevenger et al<sup>(110)</sup> pode-se retirar da expressão que define a fração absorvida  $\psi_i$ , a equação para a dose.

De fato, se um alvo de volume  $v$  absorver energia proveniente de uma fonte  $r$ , a fração absorvida em  $v$  proveniente de  $r$  (indicado por  $\psi_i(v \leftarrow r)$ ) será dada pela equação:

$$\psi_i(v \leftarrow r) = \frac{m_v \bar{D}_i(v \leftarrow r)}{N_r \Delta_i} \quad (2.2)$$

onde  $m_v \bar{D}_i(v \leftarrow r)$  é a energia fotônica absorvida pelo alvo provocada pelo componente  $E_i$  emitido pela fonte. Nesta expressão,  $\bar{D}_i$  é a dose média absorvida pelo alvo e  $m_v$ , a massa, em gramas do alvo de volume  $v$ .

Da expressão (2.2), pode-se tirar uma relação geral para o cálculo da dose:

$$\bar{D}(v \leftarrow r) = \frac{N_r}{m_v} \sum \Delta_i \psi_i(v \leftarrow r) \quad (2.3)$$

Esta equação fornece a dose diretamente em rads e vale para fontes de radiação puntiforme, linear, superficial ou volumétrica, desde que,  $N_r$  seja a atividade global da fonte  $r$ . Por outro lado, a equação (2.3) não coloca qualquer restrição quanto à forma e ao tamanho do alvo ou da fonte, podendo o volume-alvo coincidir com o volume-fonte, como ocorre no caso de autodose causada pela distribuição interna de radionuclídeo. Neste caso a equação (2.3) fica:

$$\bar{D}(v \leftarrow v) = \frac{N_r}{m_v} \sum \Delta_i \phi_i(v \leftarrow v)$$

Da equação vemos, então, que a dose absorvida resultante é uma função da fração absorvida  $\psi$  que deve ser determinada.

#### 2.4 – Cálculo da Dose Equivalente

A expressão da energia que avalia a dose equivalente recebida pelo tecido, já considerando os fatores modificadores necessários<sup>(23)</sup>, recomendados pela I.C.R.P. e I.A.E.A., é conhecida como expressão de energia efetiva e é representada por S, que nos dá a dose equivalente por  $\mu\text{Ci}$ .

Seus valores são tabelados de maneira a fornecerem a dose equivalente por  $\mu\text{Ci}$  x dia.

Então, para se obter a dose equivalente média ( $\bar{H}$ ), no órgão alvo, teremos

$$\bar{H} = N_r \times S \text{ rem} \quad (2.4)$$

Então S, mais precisamente S ( $v \leftarrow r$ ) para um dado órgão fonte r e um órgão alvo v é dado por:

$$S = 2,13 \times 24 \sum F_i \bar{E}_i \phi_i(v \leftarrow r) Q_i(v) N_i(v) \frac{\text{rem}}{\mu\text{Ci} \times \text{dia}}$$

$$S = 51,15 \sum \bar{E}_i F_i \phi_i(v \leftarrow r) Q_i(v) N_r(v) \frac{\text{rem}}{\mu\text{Ci} \times \text{dia}}$$

onde 51,15 tem as dimensões de  $\frac{\text{g} \times \text{rad}}{\text{MeV}} \times \frac{\text{desint.}}{\mu\text{Ci} \times \text{dia}}$

e

$Q_i(v)$  e  $N_i(v)$  são os fatores de qualidade e modificador apropriados para o i-ésimo tipo de radiação nos órgãos alvos, e, como se sabe são iguais a 1, para fótons com energia maior que 30 KeV<sup>(14)</sup>.

Os valores tabelados de S são mais gerais que os valores da energia efetiva, dados pela I.C.R.P., pois, neste último o valor de S é dado para órgão fonte e alvo distintos. No caso, em que o órgão fonte também é alvo, a configuração da dose pode ser bastante diferente daquela apresentada pela I.C.R.P. Geralmente, somente os fótons fazem uma contribuição para a dose se os órgãos são distintos e estão bem separados, mas para tecidos muito próximos (exemplo osso e medula óssea), a contribuição dos elétrons ou raios  $\beta$  não podem ser ignorados.

Os fatores de qualidade Q e modificador N são necessários ao especialista em proteção radiológica, pois este não está unicamente interessado na energia ou dose absorvida, mas no provável efeito biológico, que pode ser causado ao indivíduo que recebeu a dose e este é avaliado pela dose equivalente.

## 2.5 – Cálculo da Fração Absorvida

O processo de cálculo por computador para avaliar a fração absorvida de fótons, é geralmente complicado e demorado, pois a maioria dos radioisótopos possui espectro de desintegração muito complexo.

Snyder et al.<sup>(26)</sup>, publicaram as frações absorvidas para 12 energias diferentes de fótons monoenergéticos. Essas energias vão de 0,01 a 4 MeV. Estas energias foram aplicadas para cada um dos 19 órgãos fontes do simulador matemático antropomórfico, descrito no item 1.3, e as frações absorvidas foram calculadas para os 22 órgãos alvos. Entretanto, alguns órgãos apresentam fração absorvida estatisticamente incertas, por estarem localizados muito longe do órgão fonte e, portanto chegarem a eles unicamente energias e intensidades muito baixas. Naquela publicação são desprezados os resultados quando o coeficiente de variação ( $CV = \frac{100\sigma_{\Phi}}{\Phi}$ ) excede 50%, onde  $\sigma_{\Phi}$  representa o erro no cálculo de  $\Phi$ .

Quando a energia dos fótons emitidos não coincidir com nenhum valor das energias ensaiadas neste trabalho, pode-se obter a fração absorvida, simplesmente por uma interpolação entre as energias mais próximas, sem introduzir um erro muito grande.

Como no presente trabalho usaremos as energias de 0,02, 0,05, 0,1, 0,5 e 4 MeV, e considerando o meio de interação (Z baixo) podemos desprezar a probabilidade de ocorrência da produção de pares e, os fenômenos físicos de interação, por nós usados, serão fotoelétrico e Compton.

Existe um intervalo de energia onde estes dois efeitos são competitivos. Delimitaremos este intervalo informando que para energia de 10 KeV da radiação  $\gamma$ , cerca de 93% da energia absorvida é provocada pelo efeito fotoelétrico e que esta porcentagem vai decrescendo à medida que aumenta a energia dos fótons, até que a 100 KeV é reduzida unicamente a 2%.

As frações absorvidas para os fótons usados no cálculo de S foram obtidos por dois métodos: o método de Monte Carlo, que será discutido no item 2.6 e os seus resultados sendo aceitos sempre que o coeficiente de variação não excedesse 50%, para todos os pares de órgãos fonte e alvo; e o segundo método, onde Snyder et al.<sup>(26)</sup> fizeram uso do "Fator de Build-up" relatado por Berger<sup>(30)</sup>. Este último método é utilizado quando o coeficiente de variação do 1º método ultrapassa 50%. O método de Monte Carlo é o único método disponível que considera o tamanho, a forma, a posição, a densidade e a composição de vários órgãos, enquanto que o método do "Fator de Build-up" não leva em conta explicitamente nem a densidade e nem a composição dos órgãos. Pelas experiências já obtidas pelo Método de Monte Carlo, durante vários cálculos efetuados, verificamos que quando o coeficiente de variação excede 50%, o resultado tem uma confiabilidade que varia de um fator de 2 a 5, enquanto que pelo método do "Fator de Build-up", a confiabilidade é bem melhor. Outra vantagem deste último método é que são necessários 30.000 fótons para o cálculo, enquanto que no método de Monte Carlo são necessários 60.000, principalmente para baixas energias.

## 2.6 – O Método de Monte Carlo

O método de Monte Carlo, consiste essencialmente em determinar e seguir a história dos fótons nos meios absorvedores, desde a sua origem até o momento em que saem da região de interesse ou, em que suas energias sejam tão baixas que possam ser consideradas localmente absorvidas no meio que atravessam.

Com a finalidade de resolver este problema, utilizando o método de Monte Carlo, é preciso gerar um número aleatório  $r$ , no intervalo (0,1).

Supondo que temos  $n$  fótons de energia  $E$ , interagindo num meio absorvedor cuja área é  $B$ , espessura  $dt$ , com  $N$  átomos por  $cm^3$  e  $\sigma$  a seção de choque de interação em  $cm^2$  por átomo, temos

que a fração  $dn/n$  de átomos que sofrerão interação neste meio absorvedor é dada pela relação entre a área apresentada pelos átomos absorvedores e a área de incidência.

$$\text{Então } \frac{dn}{dt} = -\frac{\sigma N B n}{B}$$

ou

$$\frac{dn}{n} = -\sigma N dt \quad (2.5)$$

O número de fótons que ainda permanecerá no feixe após percorrerem uma distância  $t$  em meio uniforme, finito, onde havia, na origem  $t=0$ ,  $n_0$  fótons, desde que não existam outros processos competitivos, então:

$$n = n_0 e^{-\sigma N t} \quad (2.6)$$

Considerando  $p(t) = dn/n_0$  a probabilidade de ocorrer uma colisão, no intervalo compreendido entre  $t$  e  $t + dt$ , temos pelas equações 2.5 e 2.6 que:

$$p(t) dt = (e^{-\sigma N t}) \sigma N dt \quad (2.7)$$

Então a função distribuição de probabilidade  $P(t)dt$ , para uma 1ª colisão a uma distância  $t$  será definida pela integral  $p(t)dt$  no intervalo  $(0,1)$ , então

$$P(t) = 1 - e^{-\sigma N t} \quad (2.8)$$

Sendo  $\lambda$  a distância média percorrida pelo fóton até sofrer uma 1ª colisão, temos

$$\lambda = \int_0^{\infty} t p(t) dt = \frac{1}{N\sigma} \quad (2.9)$$

que é denominado de caminho livre médio. Assim para se determinar a distância  $t$  para ocorrer uma colisão, utilizando o método de Monte Carlo, num meio uniforme e homogêneo, devemos igualar o número aleatório  $r$  a função distribuição de probabilidade  $P(t)$  e substituir a equação 2.9 em 2.8, obtendo portanto:

$$t = -\lambda \ln(1 - r) \quad (2.10)$$

Como  $r$  é distribuído uniformemente em  $0 < r < 1$ , o mesmo ocorre para  $1 - r$  e portanto podemos escrever simplesmente que:

$$t = -\lambda \ln r \quad (2.11)$$

O coeficiente linear de atenuação,  $\lambda$ , pode ser representado por  $\mu$  logo.

$$t = -\frac{\ln r}{\mu}$$

Então se tivermos um meio absorvedor de coeficiente de atenuação  $\mu$  e geramos um número  $r$ , no intervalo  $(0,1)$ , teremos determinado a distância  $t$  para a 1ª colisão ou a distância  $t$  entre duas colisões sucessivas.

Após determinado o ponto de interação resta saber, que tipo de interação irá ocorrer naquele local e que energia será depositada naquele local. Entretanto os fótons podem sofrer 3 tipos principais de interação, que são funções de sua energia, a saber, Efeito Fotoelétrico, Compton e Produção de Pares. Os coeficientes são representados por  $\mu_F(E)$ ,  $\mu_C(E)$  e  $\mu_{pp}(E)$ , respectivamente.

Sabe-se que se a interação for por efeito fotoelétrico ou produção de pares, o fóton será absorvido, mas se sofrer efeito Compton, perderá somente parte de sua energia e poderá continuar sofrendo novas colisões ou sair do meio absorvedor de interesse.

Com a finalidade de dar a estes fótons uma probabilidade de sofrerem múltiplos espalhamentos, atribuímos inicialmente, um peso igual a 1. A cada interação esse peso é reduzido de uma quantidade igual a probabilidade de sofrer um espalhamento Compton, isto é

$$W_n = W_{n-1} \frac{\mu_C(E_{n-1})}{\mu(E_{n-1})}$$

onde  $W_n$  é o peso atribuído ao fóton após a  $n$ -ésima interação e  $\mu_C(E_{n-1})$  e  $\mu(E_{n-1})$  são respectivamente os coeficientes lineares Compton e total, imediatamente anteriores a  $n$ -ésima interação.

O processo de colisão termina sempre que ocorrer uma das seguintes hipóteses:

- 1) sai do simulador
- 2) sua energia cai abaixo de 4 KeV
- 3) seu peso diminui para um valor menor que  $10^{-5}$

Nos casos 2 e 3, a energia será considerada como sendo absorvida localmente.

A probabilidade de ocorrência de efeito fotoelétrico e produção de pares será:

$$\frac{\mu_F(E)}{\mu(E)} \text{ e } \frac{\mu_{pp}(E)}{\mu(E)}, \text{ respectivamente.}$$

Desta maneira, a energia depositada em cada interação será dada pela expressão:

$$\Delta E^* = W_{n-1} \left\{ \frac{\mu_F(E_{n-1})}{\mu(E_{n-1})} E_{n-1} + \frac{\mu_C(E_{n-1})}{\mu(E_{n-1})} (E_{n-1} - E_n) + \right.$$

$$\frac{\mu_{pp}(E_{n-1})}{\mu_{pp}(E_{n-1})} (E_{n-1} - 2m_0c^2) \}$$

onde

$2m_0c^2$  é a energia limiar de produção de pares.

Como as expressões só apresentam razões de coeficientes de atenuação lineares, podemos utilizar os coeficientes de atenuação de massa, que são independentes da densidade do meio absorvedor, sem alterar os resultados.

O pósitron formado na produção de pares será aniquilado e dois fótons com energia de 0,511 MeV, serão formados. O programa do computador foi elaborado para considerar estes fótons, pois no balanço energético houve a criação de um novo fóton de energia de 0,511 MeV, com peso igual a  $2W_{n-1} \frac{\mu_{pp}(E_{n-1})}{\mu(E_{n-1})}$ , e uma orientação ao caso, que começa no local onde ocorreu a produção de pares, pois admite-se então, que o pósitron tenha sido localmente absorvido e que o fóton assuma uma trajetória independente.

Não levamos em consideração o alcance dos elétrons secundários, pois este é muito pequeno quando comparado com as dimensões da maioria dos órgãos. Mesmo próximo aos limites dos órgãos, o erro introduzido é desprezível.

Finalmente, a radiação de freimento (*bremstrahlung*), que é produzida na desaceleração de partículas carregadas, poderia ser considerada no método de Monte Carlo. Isto porém não foi feito porque a energia total transferida pelo processo *bremstrahlung* é muito pequena, para as energias aqui consideradas.

## CAPÍTULO 3

### 3.1 – Relações Anatômicas da Cavidade Abdominal – Anatomia

A cavidade abdominal é subdividida em cavidade abdominal propriamente dita e cavidade pélvica.

Está limitada superiormente pelo músculo diafragma; posteriormente pela coluna vertebral lombar, os músculos iliopsoas, quadrado lombar e as alças do flio de cada lado; inferiormente pelo soalho pélvico e ântero-lateralmente os músculos retos e largos do abdome<sup>(11)</sup>.

As vísceras do nosso interesse, contida na cavidade abdominal, apresentam as seguintes posições: fígado, posicionado no canto superior direito; estômago, em posição mediana superior; baço na parte lateral superior esquerda. Entre a cavidade pélvica, o estômago, fígado e baço localiza-se o intestino delgado dinamicamente distribuído. Em posição anterior ao intestino delgado à direita, desde a pelve direita até a região do fígado, encontra-se o colon ascendente. Logo abaixo do fígado, estômago e baço encontra-se o colon transverso, unindo o colon ascendente ao descendente. Este último, desce verticalmente desde o baço até as proximidades da abertura superior da pelve, continuando com o colon sigmóide e este com o reto.

O útero encontra-se anterior ao sigmóide e ao reto e posterior sobre a bexiga, como podemos observar na Figura 3.1<sup>(3,10,11)</sup>.

### 3.2 – Relações Anatômicas Abdominais na Evolução da Gravidez

O útero guarda diferente relação com as diversas vísceras da cavidade abdominal no decorrer da gravidez, devido seu crescimento de aproximadamente 4 cm ao mês<sup>(3)</sup>.

No 1º trimestre, estando o útero com 12 cm de altura, contido ainda na cavidade pélvica, relaciona-se com alças iliais, colon sigmóide e reto.

No 2º trimestre, o útero com cerca de 24 cm de altura, mantém contacto com alças iliais e jejunais em posição póstero-lateral; superiormente com o colon transversal e lateralmente com o ceco, colon ascendente, colon descendente e colon sigmóide e reto.

No 3º trimestre, o útero com o seu desenvolvimento final, está em contacto com os colons transversal, ascendente, descendente, sigmóide e reto, e o estômago com exceção de seu 1/4 posterior.

O útero em sua parte posterior permanece em contacto com o intestino delgado, sigmóide e reto, e, em posição lateral com o ceco, colon ascendente e descendente.

### 3.3 – Modelos Matemáticos dos Órgãos Abdominais e Útero Grávido na Evolução da Gravidez

#### 3.3.1 – Primeiro Trimestre

Para elaborar o modelo matemático do útero neste período, tomamos a posição inferior da geratriz da superfície cônica como horizontal, apoiando-se sobre a bexiga no ponto de coordenadas (0; -4,23; 7,52). A posição do vértice do cone, que tem uma pequena variação durante o crescimento do útero, para o primeiro trimestre, foi escolhida de maneira que o útero não provoque saliência no abdome da mulher.

Realmente como podemos observar pela Figura 3.2, há uma intersecção do útero com o intestino delgado (parte tracejada da figura), provocando uma leve saliência que terá um efeito mínimo sobre o cálculo da dose podendo ser desprezada.

Calcularemos a seguir o ponto do útero mais afastado e voltado para frente, em direção ao abdome (ponto I da Figura 3.2), localizado na ordenada Y igual a -9,2 cm, permitindo que seja coberto pela espessura da pele da mulher, sem provocar saliência. O vértice do cone estará, então na posição de coordenadas A (0; 4,51; 7,52).

Considerando-se que<sup>(5)</sup>: 1) o útero até o fim do 1º trimestre é representado por um cone associado a uma semi esfera de raio externo de 6 cm; 2) a altura do cone é de 9,2 cm; 3) a espessura da parede uterina é 1 cm; 4) a geratriz da superfície cônica apoia-se sobre a superfície da bexiga e o ponto de apoio tem coordenadas (0; -4,23; 7,52) e 5) o vértice do cone apresenta as coordenadas (0; 4,51; 7,52), podemos calcular alguns pontos de interesse para conhecermos as intersecções com os órgãos componentes do trato-gastrointestinal, no plano X = 0, como podemos verificar na Figura 3.2.

Portanto, a semi-esfera será definida por

$$x^2 + (y + 3,2)^2 + (z - 12,55)^2 \leq 6^2$$

Abdominal Viscera

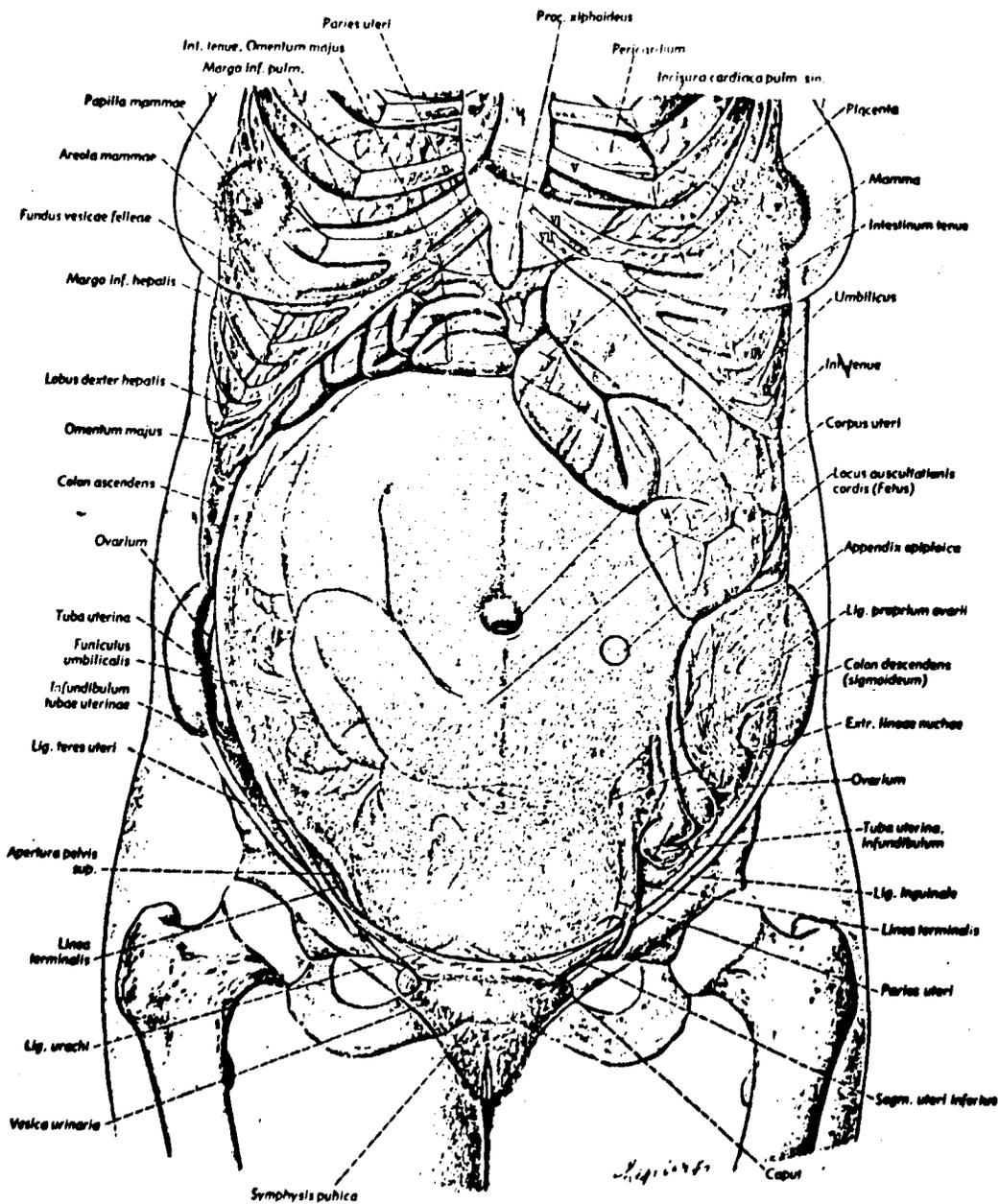


Figure 3.1 - Relações anatómicas no fim da gravidez.

e

$$0,73 (y + 3,2)^2 + 0,68 (Z - 18,55)^2 \geq 0$$

A projeção do cone no plano (y,z) será dada pelas inequações:

$$-0,73 (y - 4,51) + 0,68 (z - 7,52) \geq 0,84 \sqrt{x^2 + (y - 4,51)^2 + (z - 7,52)^2}$$

e

$$0,73 (y - 4,51) + 0,68 (z - 7,52) \leq 9,20$$

Com estes dados, podemos estudar as intersecções que ocorrem com o útero e os órgãos componentes do trato-gastrointestinal.

Pela equação que define o estômago, apresentada no item 2.3, vemos que a sua extremidade inferior encontra-se na coordenada Z (2,38 cm) e a extremidade superior do útero em 18,55 cm. Portanto observamos que não existe intersecção, confirmando o que mencionamos no item 3.2.

Ja Figura 3.2, temos o intestino delgado, em sua posição normal como dado no item 2.3. Observamos, então que há uma intersecção com o útero na sua parte frontal, isto é, na região externa ao útero próximo ao ponto K, de ordenada  $y \leq -4,57$  cm.

A seguir, mostraremos que o colon transverso não intercepta o útero. Em virtude do colon transverso em sua posição normal, encontrar-se acima do intestino delgado, com o eixo central (cilindro elíptico) paralelo ao eixo X, este não intercepta o útero. Para tanto basta mostrar que o menor valor de Z do colon transverso será maior do que a coordenada Z do ponto H (extremidade superior do útero, Figura 3.2). De fato, na equação do colon transverso.

$$\left(\frac{y + 2,22}{2,35}\right)^2 + \left(\frac{z - 23,37}{1,41}\right)^2 \leq 1$$

$$-9,87 \leq x \leq 9,87$$

observamos que o menor valor de z é 21,96 cm e para o ponto H, o valor de Z é 18,55 cm.

Do mesmo modo pode-se demonstrar que o colon descendente não intercepta o útero.

Por análises análogas, podemos verificar que o colon ascendente, também não intercepta o útero.

Para o caso do colon sigmóide e reto, a intersecção com o útero ocorrerá no intervalo de  $Z = 7,52$  a  $Z = 8,2$  cm.

### 3.3.2 – Segundo Trimestre

Para o modelo do útero, no 2º trimestre de gravidez, inicialmente determinamos o arredondamento do útero, levando em conta a inclinação inicial de  $10^\circ$  com a horizontal, discutida no item 2.2.

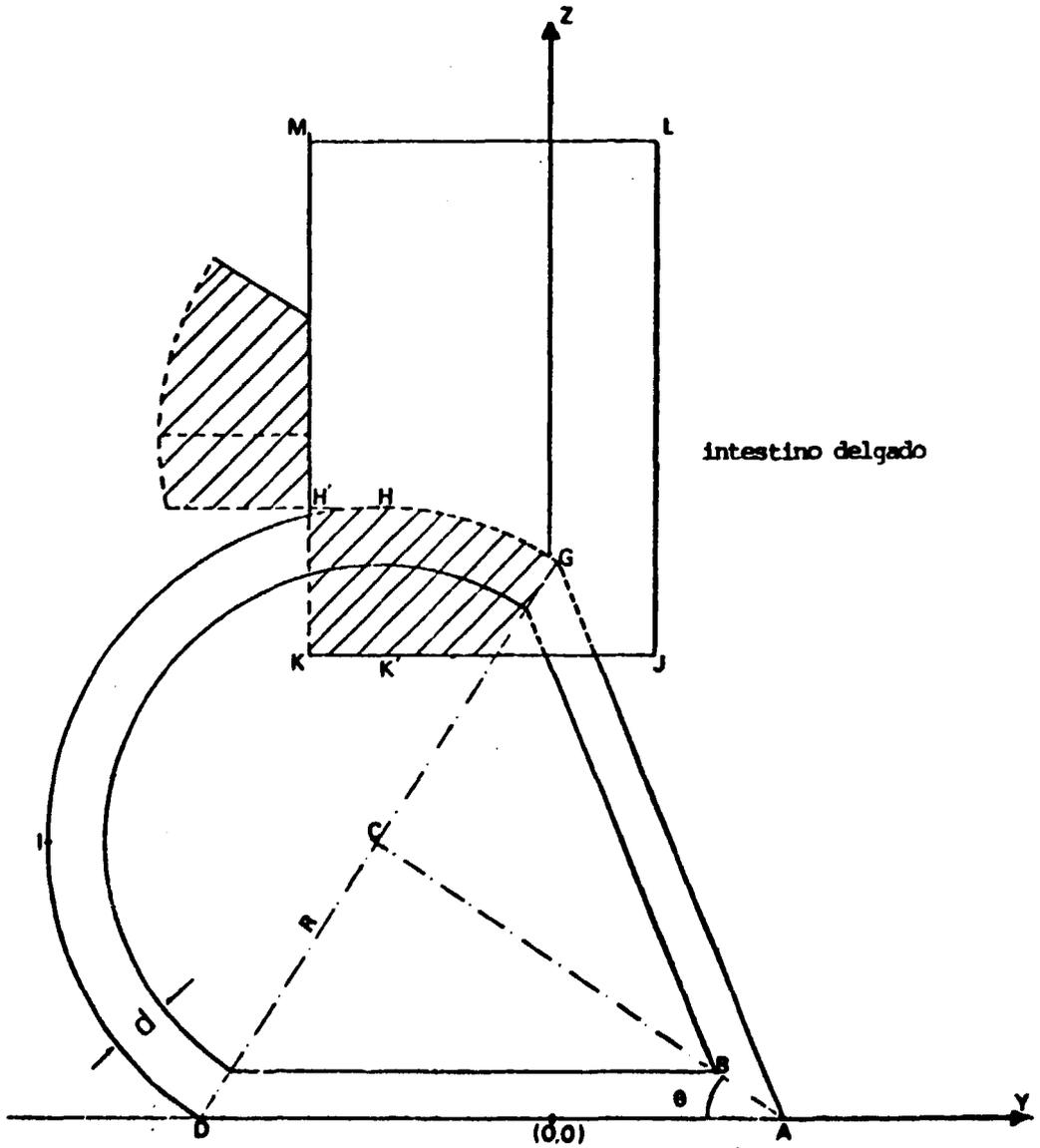


Figura 3.2 – Modelo matemático do útero e intestino delgado no 1º trimestre de gravidez mostrando a intersecção e o deslocamento, no plano  $x = 0$ .

$A = (0; 4,51; 7,52)$ ;  $B = (0; 2,97; 8,52)$ ;  $C = (0; -3,20; 12,55)$ ;  
 $D = (0; -6,48; 7,52)$ ;  $G = (0; 0,08; 17,57)$ ;  $H = (0; -3,20; 18,55)$ ;  
 $I = (0; -9,20; 12,55)$ ;  $J = (0; 2,07; 15,98)$ ;  $K = (0; -4,57; 15,98)$ ;  
 $L = (0; 2,07; 25,38)$ ;  $M = (0; -4,57; 25,38)$ ;  $K' = (0; -3,20; 15,98)$ ;  
 $H' = (0; -4,57; 18,55)$ ;  $\theta = 33^\circ$ ;  $R = 6\text{cm}$ ;  $d = 1\text{cm}$ .

Supondo-se que<sup>(5)</sup>: 1) inicia-se o aumento do abdome<sup>(3,19,2)</sup> o útero neste período de gravidez é representado por um cone cujo vértice foi arredondado por uma semi-esfera inferior, de raio igual a 5 cm e é encimado por uma semi esfera superior de raio 10 cm; 3) a altura do cone é de 14,7 cm; 4) a espessura da parede uterina é de 0,9 cm; e 5) ajustando-se o colon do útero no plano  $Y = 2,82$ , obtemos um ponto que representa o vértice do cone de coordenadas (0; 4,51; 5,98), onde podemos calcular alguns pontos de interesse para conhecermos as intersecções com os órgãos componentes do trato-gastrointestinal, no plano  $X = 0$ , como podemos observar pela Figura 3.3.

A semi-esfera superior será definida por

$$x^2 + (y + 6,03)^2 + (z - 16,23)^2 < (10)^2$$

e

$$-0,70 (y + 6,03) + 0,72 (z - 12,23) > 0$$

E a semi-esfera inferior por:

$$x^2 + (y + 0,77)^2 + (z - 11,11)^2 < (5,91)^2$$

e

$$0,70 (y + 0,77) - 0,72 (z - 11,11) > 0$$

A projeção do cone no plano (x,y) será dada pelas inequações:

$$0,70 (y - 4,51) + 0,72 (z - 5,98) > 0,83 \sqrt{x^2 + (y - 4,51)^2 + (z - 5,98)^2}$$

e

$$7,36 < -0,70 (y - 4,51) + 0,72 (z - 5,98) < 14,69$$

O estômago é representado geometricamente pela inequação:

$$\left(\frac{x - 7,52}{3,76}\right)^2 + \left(\frac{y + 3,76}{2,82}\right)^2 + \left(\frac{z - 32,90}{7,52}\right)^2 < 1$$

e a semi esfera superior do útero por

$$x^2 + (y + 6,03)^2 + (z - 16,23)^2 < 10^2$$

havendo intersecção dos dois órgãos no plano  $z = 26,23$  cm. Esta intersecção terá uma altura de 0,85 cm, que representa uma área pequena para efeito de cálculo de dose, pois a configuração geométrica praticamente não irá variar. Portanto consideramos como se não houvesse intersecção.

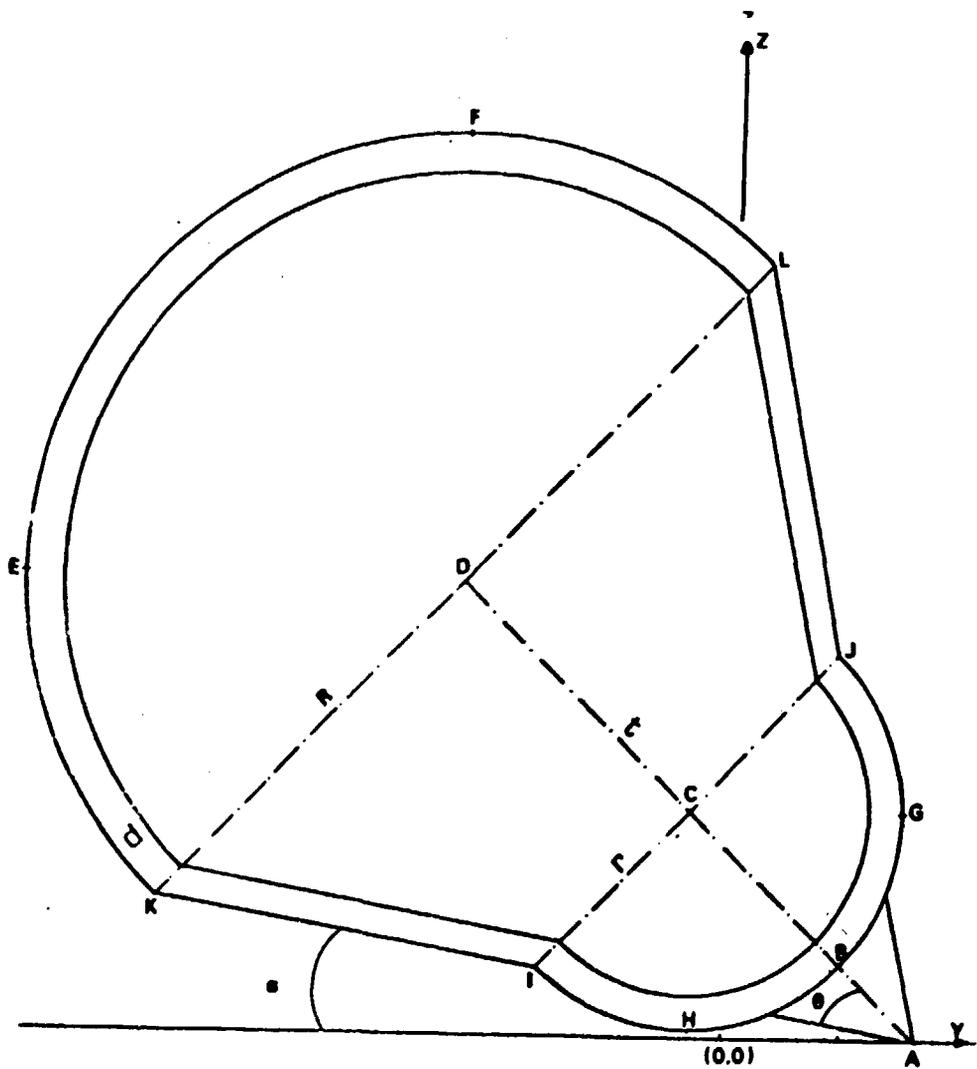


Figura 3.3 – Modelo matemático do útero para o 2º trimestre de gravidez, no plano  $x=0$ .

$A = (0; 4,51; 5,98)$ ;  $B = (0; 2,82; 7,62)$ ;  $C = (0; -0,77; 11,11)$ ;  
 $D = (0; -7,03; 16,23)$ ;  $E = (0; -16,03; 16,23)$ ;  $F = (0; -7,03; 26,23)$ ;  
 $G = (0; 1,67; 11,11)$ ;  $H = (0; -0,77; 6,11)$ ;  $I = (0; -4,26; 7,53)$ ;  
 $J = (0; 2,72; 14,70)$ ;  $K = (0; -13,00; 9,08)$ ;  $L = (0; 0,95; 23,40)$ ;  
 $\Theta = 34^\circ$ ;  $\alpha = 10^\circ$ ;  $R = 10 \text{ cm}$ ;  $r = 5,01 \text{ cm}$ ;  $d = 0,9 \text{ cm}$ .

Utilizando-se as equações matemáticas que definem o intestino delgado, apresentada no item 2.2, e a da semi esfera superior do útero, definida neste item, verificamos que o intestino delgado estende-se sobre toda a parte superior do útero. Conseqüentemente, se moverá com o crescimento do útero, até o final da gravidez.

O colon ascendente situado à direita do útero, terá uma intersecção com o mesmo, como foi mencionado no item 3.2.

O colon transversal, tendo altura mínima em  $z = 22,56$  cm, interceptará o útero. Posicionando acima do mesmo, ajusta-se na forma triangular, iniciando-se abaixo do estômago e em frente da semi-esfera superior do útero.

De uma maneira análoga, o colon descendente posicionado à esquerda do útero, não o interseccionará.

No caso do sigmóide e reto, a intersecção com o útero ocorre no intervalo definido por  $6,11 < z < 8,2$  cm.

### 3.3.3 – Terceiro Trimestre

Partindo dos fatos que<sup>(5)</sup> 1) o útero até o final da gravidez é representado por um cone cujo vértice foi arredondado por uma semi-esfera superior, de raio 12 cm; 2) a altura do cone é de 20,5 cm; 3) a espessura da parede é de 0,6 cm; e 4) ajustando-se o colon do útero no plano  $y = 2,82$ , obtemos um ponto de coordenadas (0; 6,17; 5,69), podemos calcular alguns pontos de interesse para conhecermos as intersecções com os órgãos componentes do trato-gastrointestinal, no plano  $x = 0$ , como mostra a Figura 3.4.

A semi-esfera superior será definida por

$$x^2 + (y - 9,46)^2 + (z - 18,96)^2 \leq (12)^2$$

e

$$-0,76 (y + 9,46) + 0,65 (z - 18,96) \leq 0$$

E a da semi-esfera inferior por:

$$x^2 + (y + 1,91)^2 + (z - 12,54)^2 \leq (6,2)^2$$

e

$$0,76 (y + 1,91) - 0,65 (z - 12,54) \geq 0$$

A projeção do cone no plano (x,y) será dada pelas inequações:

$$-0,76 (y - 6,17) + 0,65 (z - 5,69) \geq 0,86 \sqrt{x^2 + (y - 6,17)^2 + (z - 5,69)^2}$$

e

$$10,59 \leq -0,76 (y - 6,17) + 0,65 (z - 5,69) \leq 20,6$$

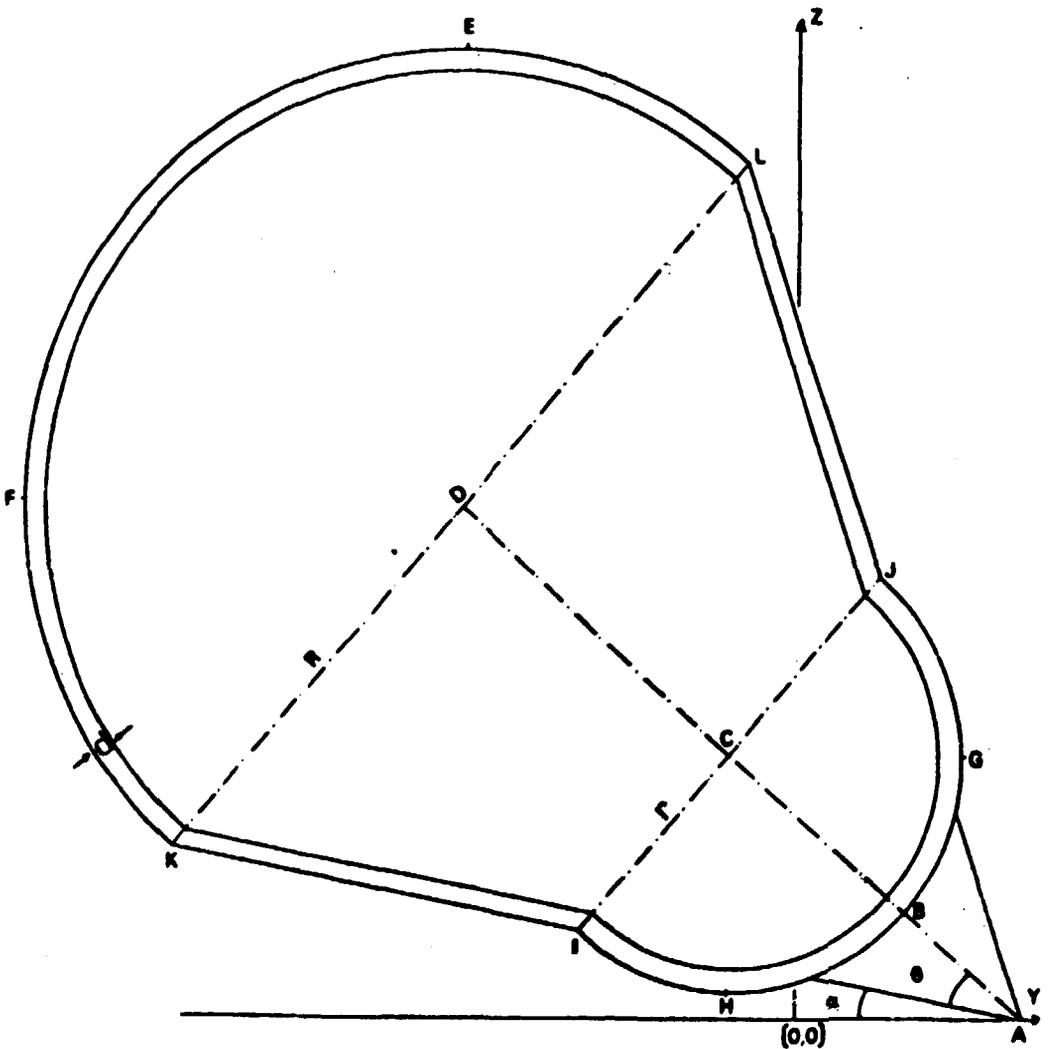


Figura 3.4 - Modelo matemático do útero para o 3º trimestre de gravidez, no plano  $x = 0$ .

$A = (0; 6,18; 5,69)$ ;  $B = (0; 2,82; 8,53)$ ;  $C = (0; -1,91; 12,54)$ ;  
 $D = (0; -9,48; 18,96)$ ;  $E = (0; -9,48; 30,96)$ ;  $F = (0; -21,46; 18,96)$ ;  
 $G = (0; 4,29; 12,54)$ ;  $H = (0; -1,91; 6,34)$ ;  $J = (0; 2,11; 17,27)$ ;  
 $L = (0; -1,69; 28,10)$ ;  $\Theta = 30^\circ$ ;  $\alpha = 10^\circ$ ;  $R = 12 \text{ cm}$ ;  $r = 6,2 \text{ cm}$ ;  $d = 0,6 \text{ cm}$ .

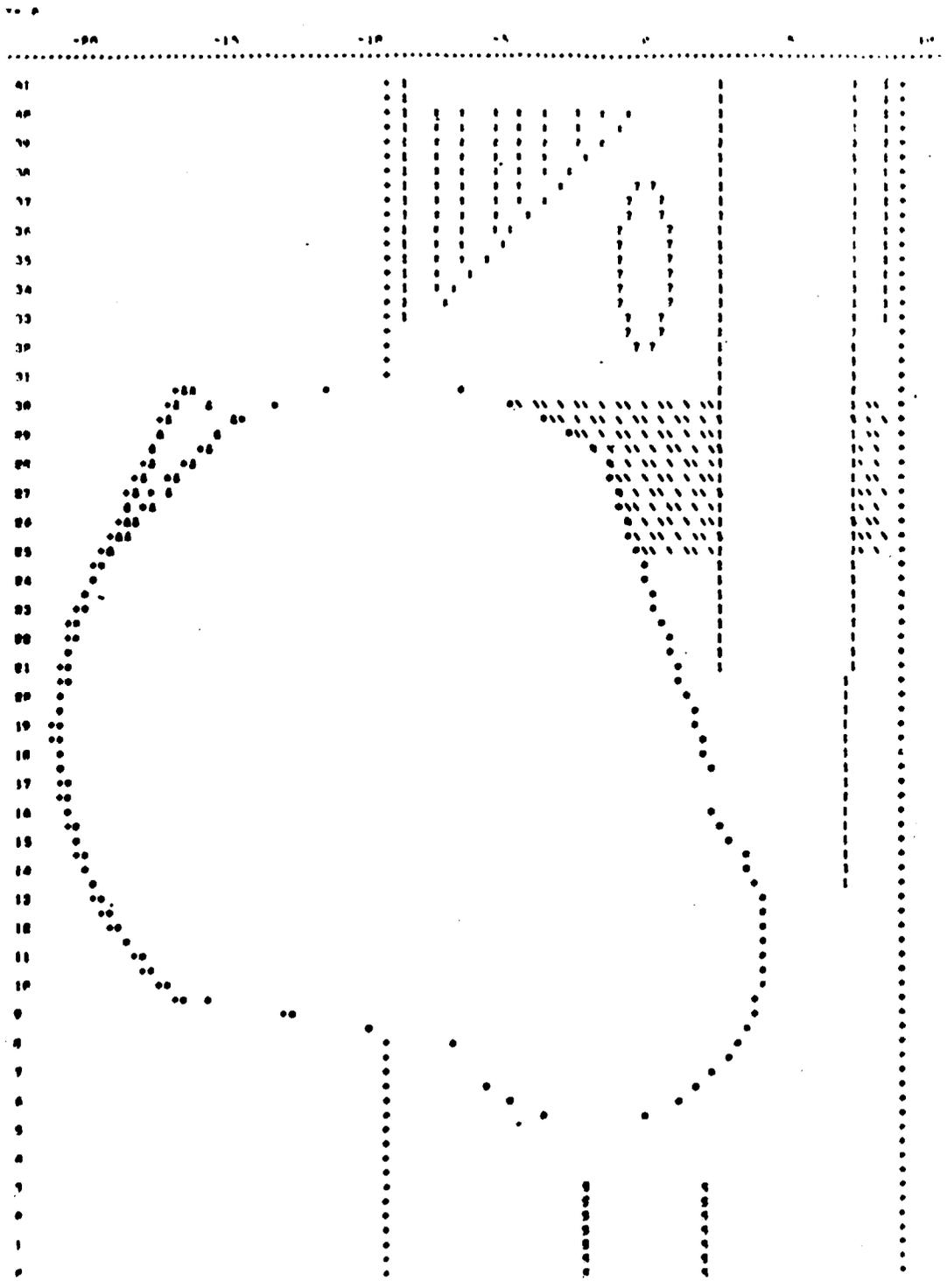


Figura 3.5 - Modelo matemático do útero e os vários órgãos que o interceptam no 3º trimestre, no plano  $x = 0$ . (pâncreas = ?; útero = \*; osso = |; intestino delgado = \; pele = +; colo transverso = &; Sigmóide = S) (escala 12).

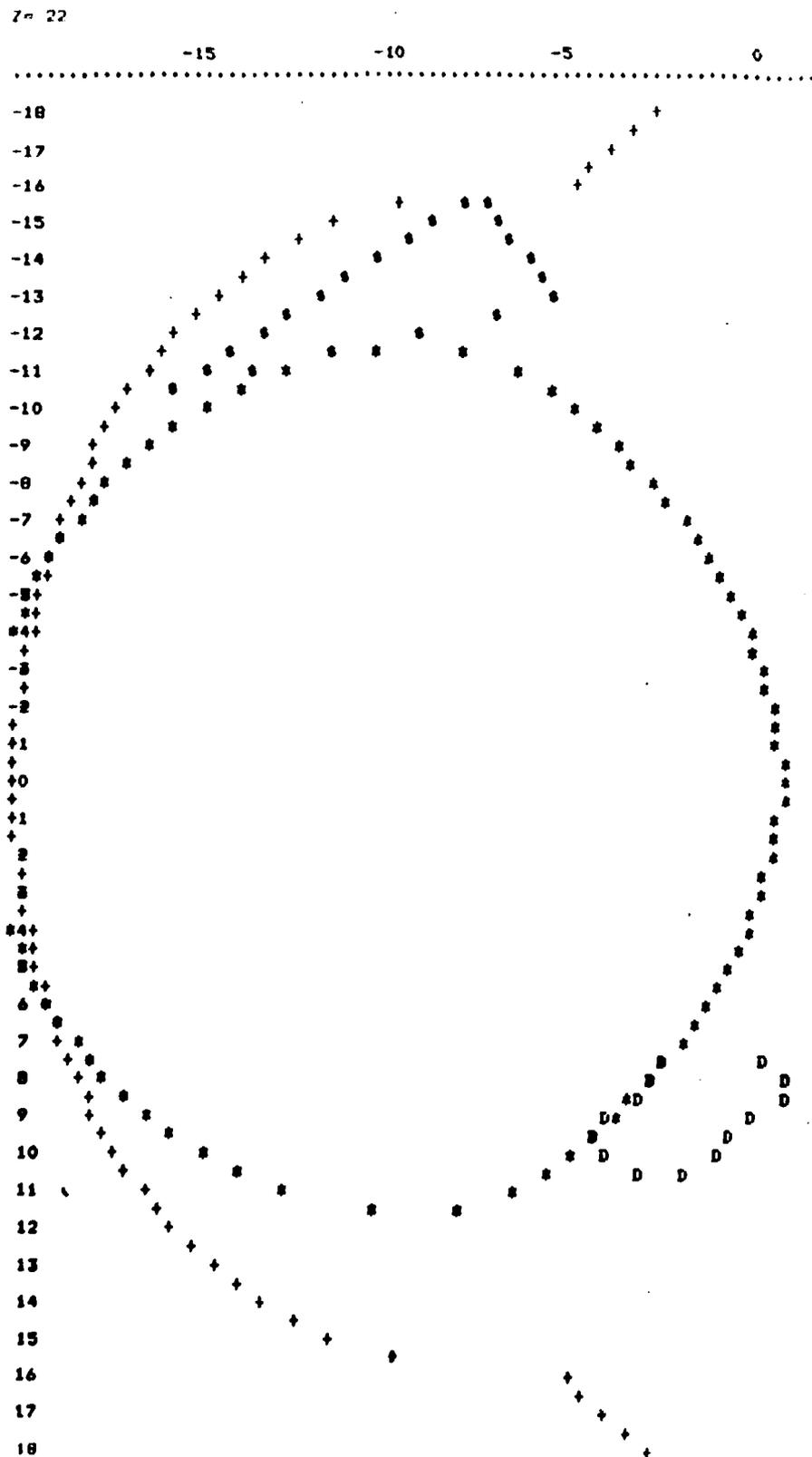


Figura 3.6 – Vista da Intersecção do colo descendente (D) e colo ascendente (A) no plano  $Z = 22$ , no 3º trimestre de gravidez (escala: 1:4).

Pela representação geométrica do estômago definida no item 2.2 e como mencionamos no item 3.2, neste trimestre, o estômago será interseccionado pelo útero. Sua posição normal sofrerá uma rotação e uma translação, representada pela equação:

$$\left(\frac{x-a}{3,76}\right)^2 + \left(\frac{(y+b)\cos\beta - (z-c)\sin\beta}{2,82}\right)^2 + \left(\frac{(y+b)\sin\beta + (z-c)\cos\beta}{7,52}\right)^2 \leq 1$$

Onde (a, b, c) é o novo centro do elipsóide e  $\beta$  é o ângulo que o maior eixo dele faz com o eixo de coordenada z. Estes valores são aproximadamente (10, -5, 30) e  $\beta$  60°.

Analisando-se a equação do intestino delgado (item 3.2), e da semi-esfera superior do útero, definida neste item, observamos que o intestino delgado estende-se sobre toda a parede superior do útero, pois a extremidade superior deste no eixo z é dado por (0; 9,46; 18,96).

O colon transversal, neste período, assume uma forma triangular (Figura 3.5) e localiza-se na parte pôsterio-superior do útero, tendo em frente, na superfície inferior a superfície superior do útero e a sua superfície superior abaixo do estômago.

O colon ascendente encosta e é deslocado pelo lado direito do útero, também passando a ter uma forma triangular, como podemos mostrar na Figura 3.6.

O colon descendente terá sua intersecção na lateral esquerda do útero em todo o seu volume (Figura 3.6), estendendo-se de (5,29; -1,93; 8,2) a (5,29; -1,93; 22,56).

Pela equação da semi-esfera inferior do útero, definida neste item e considerando-se a extremidade inferior do útero no eixo y sendo definida pelas coordenadas (0; -1,91; 6,34) a intersecção com o sigmoides e reto ocorre no intervalo definido por  $6,3 \leq z \leq 8,2$  cm.

### 3.4 – Cálculo da Dose

Para o cálculo da dose equivalente média ( $\bar{H}$ ) recebida pelo feto, utilizamos o programa "The Monte Carlo Pregnant Woman Program"<sup>(19)</sup> o mesmo utilizado para o cálculo da dose, supondo a fonte na bexiga<sup>(15)</sup>.

Na execução do programa em linguagem fortran IV, utilizamos o computador IBM/370-155, do Instituto de Energia Atômica, sistema operacional OS/VS2, sendo necessário 180K bytes de memória, uma unidade de disco contendo a biblioteca de secção de choque e um tempo de processamento médio de 25 minutos.

Nesse trabalho, o programa sofreu modificações na "Subrotina Fonte" e nos dados de entrada. Para as energias de 0,05, 0,10, 0,50 e 4 MeV, utilizamos 20.000 fótons e para energia de 0,02 MeV necessitamos, para uma melhor estatística, 60.000 fótons.

Em relação aos dados de entrada, calculamos o volume médio de cada um dos 12 compartimentos ( $\bar{V}_1$  a  $\bar{V}_{12}$ ), em que dividimos o útero (Figura 1.3, Item 1.5), e também o volume médio do conteúdo (feto mais placenta) ( $\bar{V}_c$ ), da parede uterina ( $\bar{V}_p$ ) e total do útero ( $\bar{V}_T$ ), no 1º, 2º e 3º trimestre (apêndice B).

Também foram fornecidos, para cada trimestre de gravidez, os valores médios do raio do feto ( $\bar{RF}$ ), do raio do útero ( $\bar{RU}$ ) considerando a espessura da parede uterina, a altura do cone do útero ( $\bar{HU}$ ), a altura do cone subtraído da espessura da parede uterina ( $\bar{HF}$ ), a metade desta altura ( $\bar{HF}2$ ), bem

como a ordenada Y da extremidade inferior do útero no eixo Y ( $y_{\min}$ ), a ordenada Z da extremidade superior do útero no eixo z ( $z_{\text{top}}$ ), os valores das coordenadas do centro da semi-esfera superior do útero ( $X_p$ ,  $Y_p$ ,  $Z_p$ ) e o valor do quadrado do raio da semi-esfera superior.

Os valores dos dados de entrada estão relacionados na Tabela III.4.1, separados por trimestre.

TABELA 3.4.1 - DADOS DE ENTRADA

TRIMESTRE	PRIMEIRO	SEGUNDO	TERCEIRO	UNIDADE
$\overline{RF}$	5.00	10.00	12.00	CM
$\overline{RU}$	6.00	14.70	20.50	CM
$\overline{HU}$	9.20	9.10	11.40	CM
$\overline{HF}$	8.74	11.45	15.51	CM
$\overline{HF}^2$	4.37	5.72	7.75	CM
THETA	33.11	44.23	40.34	GR
$\overline{V1}$	7.15	31.02	65.96	CM <sup>3</sup>
$\overline{V2}$	7.15	31.02	65.96	CM <sup>3</sup>
$\overline{V3}$	7.15	31.02	65.96	CM <sup>3</sup>
$\overline{V4}$	7.15	31.02	65.96	CM <sup>3</sup>
$\overline{V5}$	50.05	217.15	461.69	CM <sup>3</sup>
$\overline{V6}$	50.05	217.15	461.69	CM <sup>3</sup>
$\overline{V7}$	50.05	217.15	461.69	CM <sup>3</sup>
$\overline{V8}$	50.05	217.15	461.69	CM <sup>3</sup>
$\overline{V9}$	65.45	354.57	775.73	CM <sup>3</sup>
$\overline{V10}$	65.45	354.57	775.73	CM <sup>3</sup>
$\overline{V11}$	65.45	354.57	775.73	CM <sup>3</sup>
$\overline{V12}$	65.45	354.57	775.73	CM <sup>3</sup>
$\overline{V.PAR.}$	308.61	1062.82	1496.91	CM <sup>3</sup>
$\overline{V.FETO}$	490.61	2570.96	5213.53	CM <sup>3</sup>
$\overline{V.TOT.}$	799.22	3633.77	6710.44	CM <sup>3</sup>
YMIN	-9.20	-16.03	-21.46	CM
ZTOP	18.55	26.23	30.96	CM
XP	0.0	0.0	0.0	CM
YP	-3.20	-6.03	-9.46	CM
ZP	12.55	16.23	18.96	CM
RSQ	36.00	100.00	144.00	CM <sup>2</sup>

Na "Subrotina Fonte", as alterações feitas são representados pelos parâmetros VSS, conforme apêndice C. Na Tabela III.4.2 apresentamos os valores dos parâmetros VSS, para cada trimestre, conforme especificados a seguir.

VSS (1) – representa a diferença do quadrado dos valores mínimos do órgão fonte e máximos do órgão alvo, no eixo Z.

VSS (2) – representa a diferença do quadrado dos valores mínimos do órgão fonte e máximos do órgão alvo, no eixo Y.

VSS (3), VSS (7), VSS (10) – representam respectivamente os volumes médios da parede, do conteúdo e total dos órgãos fonte em estudo.

VSS (4), VSS (5) e VSS (6) – representam respectivamente os valores de a, b, c, que são diâmetros das figuras geométricas que representam o órgão fonte em estudo.

VSS (8) – representa as constantes específicas, utilizadas no cálculo dos valores de VSS (3), VSS (7) e VSS (10), que variam com suas formas geométricas.

VSS (9) – representa o valor de b, que é um dos valores do diâmetro da figura geométrica representada pelo órgão-fonte em estudo (VSS (9) = VSS (5)).

O programa fornece a dose equivalente média por fótons em cada um dos 12 compartimentos, em que foi dividido o útero, no seu conteúdo e na sua parede.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados serão apresentados supondo, a fonte no estômago, depois no intestino delgado, colon ascendente, colon transverso, colon descendente, color sigmóide e reto, respectivamente.

A Tabela IV.1 apresenta a dose equivalente média ( $\bar{H}$ ), no 1º trimestre, para cada um dos 12 compartimentos em que foi dividido o útero e também para o feto e parede uterina, para cada uma das cinco energias consideradas. isto é, 0,20, 0,50, 0,10, 0,50 e 4 MeV, e o respectivo coeficiente de variação

$$(CV = \frac{100\sigma}{\bar{H}}).$$

As Tabelas IV.2 e IV.3 apresentam os mesmos dados para o 2º e 3º trimestre.

As Tabelas IV.4, IV.5 e IV.6 são de mesma natureza que as Tabelas IV.1, IV.2 e IV.3, variando somente o órgão fonte, que passa a ser o intestino delgado.

As Tabelas seguintes até IV.18, são dadas para o órgão colon transverso, colon ascendente, colon descendente, sigmóide e reto, usando-se o mesmo critério que acabamos de adotar.

Nas Tabelas, considera-se a dose equivalente média ( $\bar{H}$ ) como nula, para valores menores que  $10^{-21}$  rem/fótons.

Pela figura abaixo podemos observar as posições dos 12 compartimentos em que dividimos o útero.

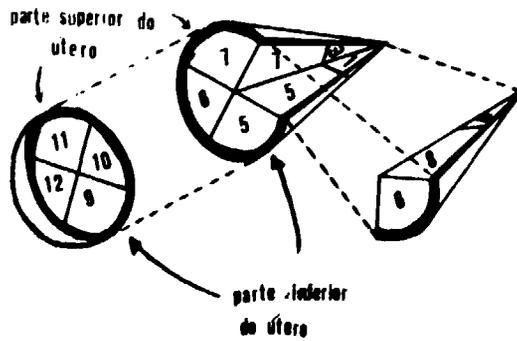


Figura 4.1 – Divisão do útero em compartimentos.

TABELA 3.4.2 - VALORES CCS FARMACÊUTICOS "VSS", PARA A SUBROTINE SGRCE

CATEGÓRIAS	VSS(1)	VSS(2)	VSS(3)	VSS(4)	VSS(5)	VSS(6)	VSS(7)	VSS(8)	VSS(9)	VSS(10)
PRIMEIRO TRIMESTRE										
ESTÔMAGO	46.71	7.55	207.79	3.76	2.82	7.52	126.21	4.15	2.82	334.00
INTESTINO DELGADO	88.36	45.70	380.95	9.39	3.57	9.40	609.56	3.14	3.57	990.55
COLIC ASCENDENTE	80.55	4.52	79.98	7.99	2.22	8.98	75.77	3.14	2.22	155.75
COLIC TRANSVERSO	16.11	21.44	122.54	9.87	2.35	1.41	111.91	3.14	2.22	234.84
COLIC DESCENDENTE	206.20	3.72	84.36	1.77	2.00	14.36	75.15	3.14	1.93	159.55
SIGNÍFICA E RETO	67.15	2.18	67.50	2.82	1.48	8.20	69.50	3.14	1.48	138.82
SEGUNDO TRIMESTRE										
ESTÔMAGO	0.73	0.20	207.79	3.76	2.82	7.52	126.21	4.19	3.76	334.00
INTESTINO DELGADO	0.73	0.15	380.95	9.39	3.57	9.40	609.56	3.14	3.87	990.55
COLIC ASCENDENTE	40.03	131.32	75.58	7.99	2.22	8.98	75.77	3.14	2.22	155.75
COLIC TRANSVERSO	13.45	46.21	122.54	9.87	2.35	1.41	111.91	3.14	2.22	234.84
COLIC DESCENDENTE	10.57	5.13	84.36	1.77	2.00	14.36	75.15	3.14	1.93	159.55
SIGNÍFICA E RETO	6.54	0.50	67.50	2.82	1.48	8.20	69.50	3.14	1.48	138.82
TERCEIRO TRIMESTRE										
ESTÔMAGO	31.11	0.28	207.79	3.76	2.82	7.52	126.21	4.15	3.76	334.00
INTESTINO DELGADO	31.11	7.54	380.95	9.39	3.57	9.40	609.56	3.14	3.57	990.55
COLIC ASCENDENTE	55.81	292.04	75.58	7.99	2.22	8.98	75.77	3.14	2.22	155.75
COLIC TRANSVERSO	7.55	7.10	122.54	9.87	2.35	1.41	111.91	3.14	2.35	234.84
COLIC DESCENDENTE	3.31	74.16	84.36	1.77	2.00	14.36	75.15	3.14	1.93	159.55
SIGNÍFICA E RETO	3.44	0.18	67.50	2.82	1.48	8.20	69.50	3.14	1.48	138.82

TABELA 4.1 - COSE EQUIVALENTE MÉDIA PRODUZIDA PELA FCATE NO ESTÔMACO - PRIMEIRO TRIMESTRE

COMPARTIMENTOS	0.02		0.05		0.10		0.50		4.00	
	F	CV	H	CV	H	CV	H	CV	F	CV
1	0.27E-14	37.63	0.42E-13	15.85	0.48E-13	18.09	0.30E-12	27.87	0.11E-11	52.25
2	0.47E-14	24.89	0.53E-13	13.85	0.55E-13	17.68	0.33E-12	25.45	0.23E-11	26.33
3	0.14E-13	17.95	0.69E-13	12.10	0.94E-13	13.56	0.35E-12	28.83	0.25E-11	33.95
4	0.56E-14	26.75	0.47E-13	15.35	0.44E-13	18.56	0.23E-12	25.67	0.80E-12	61.07
5	0.43E-15	43.52	0.18E-13	9.92	0.31E-13	9.93	0.13E-12	15.06	0.71E-12	24.79
6	0.11E-14	21.74	0.22E-13	7.51	0.46E-13	7.95	0.18E-12	7.95	0.50E-12	22.03
7	0.58E-14	8.50	0.58E-13	5.92	0.80E-13	6.29	0.34E-12	10.07	0.16E-11	17.05
8	0.23E-15	16.31	0.35E-13	7.75	0.47E-13	8.06	0.21E-12	12.54	0.10E-11	21.04
9	0.85E-16	55.95	0.51E-14	13.64	0.16E-13	10.76	0.96E-13	15.81	0.48E-12	26.66
10	0.15E-15	36.61	0.15E-13	5.55	0.26E-13	9.72	0.12E-12	14.12	0.45E-12	28.67
11	0.10E-14	20.02	0.15E-13	8.98	0.35E-13	8.34	0.13E-12	13.42	0.58E-12	22.11
12	0.28E-15	40.03	0.16E-13	5.49	0.24E-13	10.47	0.16E-12	15.08	0.62E-12	23.44
FETC	0.20E-14	6.13	0.26E-13	3.35	0.38E-13	3.50	0.16E-12	4.65	0.81E-12	7.50
PARCEL LTERINA	0.35E-14	5.55	0.20E-13	3.87	0.31E-13	3.88	0.14E-12	6.01	0.67E-12	10.14

E - ENERGIA CC FCTCN (MEV)

H - COSE EQUIVALENTE MÉDIA (REM/FCTCN)

CV - COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (100  $\sigma/\bar{H}$ )

TABELA 4.2 - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA FREQUENCIADA PELA FONTE NO ESTÔMAGO - SEGUNDO TRIMESTRE

ENERGIAS	0.02		0.05		0.10		0.50		4.00	
	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV
COMPARTIMENTOS										
1	0.33E-14	34.27	0.55E-12	5.05	0.14E-12	6.03	0.66E-12	9.98	0.30E-11	15.19
2	0.68E-14	21.93	0.99E-12	3.84	0.28E-12	4.46	0.12E-11	6.91	0.49E-11	12.11
3	0.40E-13	11.14	0.22E-11	2.62	0.62E-12	3.06	0.29E-11	4.42	0.16E-10	6.67
4	0.14E-13	18.78	0.97E-12	3.84	0.25E-12	4.67	0.13E-11	6.63	0.63E-11	10.91
5	0.30E-14	78.80	0.13E-12	4.22	0.42E-13	4.44	0.18E-12	6.48	0.10E-11	9.95
6	0.17E-15	52.14	0.20E-12	3.51	0.62E-13	3.80	0.27E-12	5.42	0.12E-11	9.41
7	0.24E-15	38.30	0.33E-12	2.78	0.95E-13	3.11	0.39E-12	4.53	0.18E-11	7.67
8	0.32E-14	72.83	0.19E-12	3.59	0.62E-13	3.81	0.25E-12	5.65	0.14E-11	8.74
9	0.0	0.0	0.42E-13	6.20	0.13E-13	5.99	0.61E-13	7.85	0.38E-12	12.33
10	0.0	0.0	0.49E-13	6.12	0.17E-13	5.50	0.62E-13	7.69	0.37E-12	12.07
11	0.0	0.0	0.42E-13	5.58	0.18E-13	5.08	0.72E-13	7.57	0.45E-12	11.15
12	0.0	0.0	0.50E-13	5.86	0.16E-13	5.62	0.72E-13	7.54	0.39E-12	12.09
FETO	0.10E-14	8.71	0.18E-12	1.37	0.47E-13	1.49	0.21E-12	1.89	0.11E-11	2.88
PAREDE UTERINA	0.20E-13	2.53	0.20E-12	1.34	0.72E-13	1.53	0.34E-12	2.16	0.17E-11	3.52

E - ENERGIA DO FONTE (PEV)

H - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA (REM/FONTE)

CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100  $\sigma/\bar{H}$ )

TABELA 4.3 - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA FREQUENCIADA PELA FONTE NO ESTÔMAGO - TERCEIRO TRIMESTRE

ENERGIAS	0.02		0.05		0.10		0.50		4.00	
	F	CV								
COMPARTIMENTOS										
1	0.58E-12	4.47	0.22E-12	8.09	0.30E-13	8.56	0.10E-12	14.05	0.71E-12	22.66
2	0.24E-13	2.31	0.26E-12	7.04	0.40E-13	7.43	0.15E-12	12.24	0.76E-12	20.71
3	0.97E-12	1.14	0.37E-12	5.56	0.66E-13	5.97	0.21E-12	10.70	0.85E-12	20.38
4	0.24E-12	2.30	0.27E-12	7.00	0.44E-13	7.41	0.13E-12	13.63	0.73E-12	21.04
5	0.26E-14	7.62	0.31E-13	8.20	0.86E-14	6.94	0.36E-13	9.68	0.19E-12	15.26
6	0.76E-14	4.66	0.46E-13	7.28	0.11E-13	6.21	0.44E-13	8.52	0.26E-12	13.05
7	0.22E-13	2.81	0.76E-13	5.76	0.13E-13	5.62	0.66E-13	7.24	0.25E-12	12.27
8	0.78E-14	4.65	0.53E-13	6.71	0.10E-13	6.02	0.40E-13	8.36	0.26E-12	13.46
9	0.84E-16	38.40	0.43E-14	15.38	0.17E-14	10.45	0.10E-13	12.54	0.76E-13	15.30
10	0.10E-15	28.61	0.54E-14	14.59	0.21E-14	11.68	0.55E-14	13.85	0.17E-12	16.84
11	0.12E-15	27.77	0.53E-14	13.08	0.22E-14	10.69	0.11E-13	13.87	0.96E-13	17.06
12	0.57E-16	38.61	0.55E-14	15.00	0.17E-14	11.12	0.12E-13	13.60	0.84E-13	18.43
FETO	0.22E-13	0.84	0.42E-13	2.91	0.72E-14	2.80	0.30E-13	3.40	0.18E-12	48.89
PARECE UTERINA	0.55E-12	0.77	0.66E-13	2.20	0.24E-13	2.34	0.55E-13	3.44	0.55E-12	52.20

E - ENERGIA DO FCTEN (MEV)  
 F - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA (REP/FCTEN)  
 CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100 σ/F)

TABELA 4.4 - ECSE EQUIVALENTE MÉDIA FREQUENCIADA PELA FONTE NO INTESTINO DELGADO - PRIMEIRO TRIMESTRE

COMPARTIMENTOS	0.02		0.05		0.10		0.50		4.00	
	N	CV								
1	0.26E-17	62.92	0.12E-13	25.82	0.19E-13	31.39	0.90E-13	47.10	0.71E-12	57.40
2	0.29E-15	39.94	0.21E-13	19.90	0.53E-13	18.35	0.20E-12	34.68	0.63E-12	61.19
3	0.10E-14	36.26	0.30E-14	17.75	0.42E-13	22.15	0.19E-12	37.04	0.22E-12	55.95
4	0.35E-15	50.84	0.24E-13	19.47	0.27E-13	20.94	0.16E-12	35.54	0.11E-11	51.11
5	0.11E-15	51.88	0.87E-14	13.79	0.14E-13	12.83	0.68E-13	20.49	0.29E-12	36.10
6	0.28E-15	54.68	0.16E-13	10.06	0.26E-13	10.66	0.91E-13	16.59	0.68E-12	29.46
7	0.87E-15	27.09	0.24E-13	8.63	0.40E-13	8.48	0.17E-12	13.68	0.12E-11	19.59
8	0.18E-15	64.13	0.19E-13	10.29	0.29E-13	10.33	0.76E-13	18.83	0.88E-12	21.93
9	0.60E-18	88.96	0.91E-14	19.76	0.12E-13	15.13	0.64E-13	18.29	0.29E-12	31.98
10	0.77E-17	96.89	0.69E-14	14.17	0.13E-13	12.00	0.69E-13	18.60	0.20E-12	37.16
11	0.12E-15	38.97	0.11E-13	11.46	0.16E-13	11.95	0.96E-13	16.12	0.68E-12	23.05
12	0.64E-16	51.13	0.69E-14	14.37	0.16E-13	12.62	0.44E-13	15.75	0.22E-12	37.57
FETO	0.20E-15	19.03	0.12E-13	4.74	0.20E-13	4.58	0.87E-13	6.23	0.93E-12	9.26
PAREDE LTERINA	0.30E-15	17.11	0.10E-13	5.48	0.17E-13	5.20	0.74E-13	7.89	0.39E-12	13.26

E - ENERGIA DO FCTM (PEV)

N - ECSE EQUIVALENTE MÉDIA (HEM/FCTM)

CV - COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (100 σ/N)

TABELA 4.5 - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA PROVOCADA PELA FONTE NO INTESTINO DELGADO - SEGUNDO TRIMESTRE

COMPARTIMENTOS	0.02		0.05		0.10		0.50		4.00	
	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV	R	CV	R	CV
1	0.10E-13	11.40	0.79E-13	12.61	0.12E-12	12.60	0.61E-12	19.54	0.37E-11	28.68
2	0.12E-13	10.16	0.79E-13	12.25	0.12E-12	12.25	0.46E-12	21.15	0.27E-11	39.91
3	0.13E-13	10.30	0.90E-13	11.79	0.11E-12	13.42	0.54E-12	20.46	0.26E-11	33.28
4	0.11E-13	10.85	0.10E-12	11.61	0.11E-12	12.78	0.33E-12	22.98	0.31E-11	33.32
5	0.11E-13	4.27	0.72E-13	5.80	0.11E-12	6.15	0.54E-12	8.18	0.31E-11	11.85
6	0.11E-13	4.35	0.72E-13	6.20	0.10E-12	6.42	0.50E-12	8.47	0.29E-11	12.57
7	0.12E-13	4.24	0.70E-13	6.21	0.90E-13	6.47	0.39E-12	9.48	0.30E-11	11.95
8	0.11E-13	4.25	0.67E-13	5.87	0.10E-12	6.50	0.47E-12	9.04	0.31E-11	12.01
9	0.86E-14	3.70	0.75E-13	5.56	0.11E-12	5.68	0.47E-12	7.67	0.27E-11	11.61
10	0.67E-14	4.15	0.59E-13	6.30	0.81E-13	6.56	0.34E-12	8.65	0.22E-11	12.52
11	0.25E-14	5.70	0.37E-13	7.48	0.59E-13	7.71	0.26E-12	10.23	0.17E-11	13.77
12	0.67E-14	4.18	0.57E-13	6.06	0.79E-13	6.66	0.36E-12	8.68	0.24E-11	12.34
FETO	0.63E-14	1.48	0.66E-13	2.57	0.92E-13	2.72	0.41E-12	3.21	0.26E-11	4.26
PARETE UTERINA	0.71E-14	2.32	0.38E-13	3.15	0.45E-13	3.53	0.22E-12	4.95	0.13E-11	7.46

E - ENERGIA DO FOTON (MEV)

H - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA (REM/FOTON)

CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100  $\sigma/\bar{H}$ )

TABELA 4.6 - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA PROVOCADA PELA FONTE NO INTESTINO DELGADO - TERCEIRO TRIMESTRE

COMPARTIMENTOS	0.02		0.05		0.10		0.50		4.00	
	H	CV	H	CV	H	CV	H	CV	F	CV
1	0.31E-14	40.55	0.21E-13	8.71	0.29E-12	9.15	0.75E-12	16.12	0.82E-11	19.73
2	0.57E-14	20.55	0.25E-13	7.53	0.38E-12	7.78	0.14E-11	12.35	0.86E-11	19.82
3	0.31E-13	12.21	0.37E-13	6.49	0.47E-12	6.61	0.19E-11	10.88	0.83E-11	19.02
4	0.11E-13	20.69	0.26E-13	7.20	0.35E-12	7.28	0.15E-11	11.81	0.74E-11	20.01
5	0.11E-17	67.52	0.32E-14	8.13	0.60E-13	7.11	0.32E-12	9.59	0.27E-11	12.70
6	0.23E-15	50.68	0.49E-14	7.23	0.92E-13	6.73	0.34E-12	9.02	0.23E-11	13.79
7	0.27E-15	42.15	0.68E-14	6.30	0.12E-12	5.85	0.51E-12	7.95	0.28E-11	12.47
8	0.31E-16	76.50	0.49E-14	7.45	0.92E-13	6.38	0.39E-12	8.80	0.26E-11	13.08
9	0.0	0.0	0.60E-15	15.39	0.22E-13	11.57	0.14E-12	12.55	0.11E-11	16.75
10	0.0	0.0	0.68E-15	14.72	0.21E-13	11.18	0.14E-12	12.69	0.10E-11	17.43
11	0.0	0.0	0.64E-15	13.66	0.20E-13	10.81	0.14E-12	13.42	0.13E-11	16.18
12	0.18E-15	100.00	0.61E-15	15.78	0.21E-13	11.54	0.12E-12	13.33	0.10E-11	17.94
FETO	0.65E-15	5.25	0.35E-14	3.78	0.70E-13	2.92	0.31E-12	3.45	0.21E-11	4.7
PAPELE LTERINA	0.15E-13	2.66	0.15E-13	2.31	0.10E-12	2.48	0.42E-12	3.59	0.22E-11	5.67

E - ENERGIA DO FONTE (MEV)

H - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA (REM/FONTE)

CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100 σ/H)

TABELA 4.7 - COSE EQUIVALENTE MÉDIA FREQUÊNCIA PELA FONTE NO CULO TRANSVERSO - PRIMEIRO TRIMESTRE

COMPARTIMENTOS	0.02		0.05		0.10		0.50		4.00	
	M	CV	M	CV	M	CV	F	CV	F	CV
1	0.30E-14	30.66	0.61E-13	12.63	0.69E-13	15.03	0.36E-12	24.90	0.11E-11	47.70
2	0.62E-14	20.59	0.93E-13	11.22	0.13E-12	11.78	0.56E-12	20.65	0.19E-11	35.24
3	0.21E-13	14.41	0.11E-12	10.26	0.15E-12	11.44	0.66E-12	18.17	0.30E-11	25.83
4	0.66E-14	21.38	0.66E-13	11.44	0.11E-12	12.59	0.37E-12	24.23	0.13E-11	43.84
5	0.52E-15	37.46	0.26E-13	6.24	0.45E-13	7.69	0.17E-12	14.01	0.10E-11	20.86
6	0.22E-14	16.93	0.44E-13	6.54	0.64E-13	6.75	0.25E-12	11.09	0.13E-11	19.32
7	0.67E-14	6.85	0.64E-13	5.07	0.96E-13	5.56	0.42E-12	8.88	0.21E-11	14.92
8	0.21E-14	17.41	0.45E-13	6.58	0.64E-13	6.80	0.21E-12	11.80	0.14E-11	16.59
9	0.68E-17	63.53	0.13E-13	10.77	0.25E-13	8.68	0.74E-13	15.65	0.59E-12	22.94
10	0.66E-16	37.71	0.19E-13	8.62	0.26E-13	8.57	0.12E-12	13.54	0.52E-12	25.11
11	0.55E-15	27.96	0.27E-13	7.68	0.41E-13	8.12	0.17E-12	11.70	0.62E-12	20.62
12	0.65E-15	34.52	0.16E-13	8.81	0.30E-13	8.74	0.13E-12	12.51	0.76E-12	21.24
FETO	0.21E-14	5.94	0.36E-13	2.84	0.51E-13	2.92	0.20E-12	4.21	0.10E-11	6.63
PAREDE LTERINA	0.26E-14	5.77	0.26E-13	3.17	0.39E-13	3.45	0.17E-12	5.52	0.94E-12	8.65

E - ENERGIA DE FONTE (MEV)

M - COSE EQUIVALENTE MÉDIA (REP/FONTE)

CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100  $\sigma^2/\bar{M}$ )

TABELA 4.6 - COSE EQUIVALENTE MÉDIA PROVOCADA PELA FONTE DE CCLD TRANSVERSO - SEGUNDO TRIMESTRE

ENERGIAS COMPARTIMENTOS	0,02		0,05		0,10		0,50		4,0	
	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV
1	0.19E-14	42.42	1.16E-12	8.36	0.54E-13	9.20	0.18E-12	16.16	0.67E-12	27.53
2	0.12E-13	20.12	0.24E-12	7.28	0.82E-13	7.49	0.24E-12	13.49	0.13E-11	24.94
3	0.32E-13	12.15	0.32E-12	6.24	0.84E-13	7.20	0.37E-12	11.11	0.18E-11	15.33
4	0.15E-14	16.03	0.22E-12	7.18	0.72E-13	8.08	0.28E-12	13.13	0.93E-12	27.29
5	0.15E-15	71.25	0.42E-13	7.01	0.18E-13	6.39	0.70E-13	9.91	0.34E-12	17.20
6	0.17E-15	45.75	0.67E-13	5.93	0.24E-13	5.68	0.11E-12	8.40	0.51E-12	14.01
7	0.16E-14	20.26	0.10E-12	4.67	0.34E-13	5.11	0.14E-12	7.19	0.56E-12	13.35
8	0.44E-15	37.42	0.66E-13	5.81	0.24E-13	5.61	0.10E-12	6.19	0.67E-12	12.98
9	0.15E-17	100.00	0.15E-13	10.22	0.65E-14	8.41	0.35E-13	10.59	0.16E-12	16.43
10	0.27E-15	100.00	0.23E-13	6.55	0.76E-14	7.51	0.32E-13	10.88	0.25E-12	14.84
11	0.35E-17	66.52	0.26E-13	8.00	0.88E-14	7.11	0.39E-13	9.63	0.24E-12	15.12
12	0.16E-20	100.00	0.20E-13	6.76	0.71E-14	8.17	0.40E-13	10.35	0.19E-12	16.00
FETO	0.11E-14	6.14	0.53E-13	2.53	0.17E-13	2.49	0.71E-13	3.16	0.36E-12	4.95
PAREDE UTERINA	0.74E-14	3.82	0.65E-13	2.24	0.27E-13	2.44	0.11E-12	3.78	0.59E-12	5.97

E - ENERGIA DE FONTE (MEV)

H - COSE EQUIVALENTE MÉDIA (REM/FONTE)

CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100  $\sigma/\bar{H}$ )

TABELA 4.9 - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA PROVOCADA PELA FONTE AC CCLC TRANSVERSO - TERCEIRO

ENERGIAS COMPARTIMENTOS	0.02		0.05		0.10		0.5'		4.0'	
	F	CV								
1	0.47E-15	32.50	0.27E-13	7.06	0.39E-12	7.21	0.16E-12	11.99	0.76E-12	20.43
2	0.15E-14	18.00	0.36E-13	6.42	0.45E-12	6.78	0.22E-12	10.34	0.10E-11	18.13
3	0.25E-14	13.37	0.49E-13	5.53	0.60E-12	5.81	0.26E-12	5.30	0.19E-11	13.41
4	0.12E-14	19.36	0.39E-13	6.21	0.43E-12	6.74	0.17E-12	10.88	0.88E-12	19.46
5	0.12E-17	69.90	0.49E-14	7.13	0.10E-12	5.99	0.42E-13	8.31	0.29E-12	12.65
6	0.14E-16	44.74	0.65E-14	6.12	0.11E-12	5.63	0.48E-13	8.14	0.32E-12	12.77
7	0.23E-16	44.33	0.75E-14	5.74	0.14E-12	5.16	0.65E-13	7.20	0.41E-12	10.76
8	0.91E-17	53.85	0.64E-14	6.55	0.12E-12	5.56	0.53E-13	7.92	0.27E-12	12.65
9	0.0	0.0	0.63E-15	15.08	0.31E-13	9.98	0.13E-13	11.41	0.12E-12	15.46
10	0.0	0.0	0.78E-15	14.30	0.28E-13	9.79	0.15E-13	11.85	0.11E-12	16.05
11	0.0	0.0	0.68E-15	15.23	0.23E-13	10.02	0.11E-13	12.97	0.80E-13	18.36
12	0.0	0.0	0.76E-15	13.70	0.26E-13	10.06	0.11E-13	12.61	0.11E-12	16.32
FETO	0.77E-15	5.18	0.46E-14	2.67	0.91E-13	2.53	0.36E-13	3.05	0.23E-12	4.33
PAPELE LITERINA	0.37E-14	2.55	0.22E-13	1.92	0.15E-12	2.05	0.12E-12	3.01	0.66E-12	4.80

E - ENERGIA DO FOTON (MEV)

M - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA (REM/FOTON)

CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100  $\sigma^2/\bar{M}$ )

TABELA 4.10 - ECSE EQUIVALENTE MÉDIA PRECUCADA PELA FONTE DE CCLG ASCENDENTE - PRIMEIRO TRIMESTRE

ENERGIAS COMPARTIMENTOS	0.02		0.05		0.10		0.50		4.00	
	$\bar{H}$	CV								
1	0.23E-14	51.51	0.46E-13	16.38	0.35E-13	20.97	0.80E-13	33.24	0.91E-12	57.20
2	0.63E-15	50.60	0.20E-13	16.23	0.34E-13	21.57	0.12E-12	42.44	0.15E-11	47.33
3	0.60E-15	45.80	0.42E-13	17.83	0.37E-13	19.12	0.18E-12	32.46	0.15E-11	48.10
4	0.70E-14	28.43	0.47E-13	16.01	0.63E-13	16.88	0.36E-12	26.84	0.32E-12	5.35
5	0.56E-15	34.56	0.20E-13	9.54	0.23E-13	11.07	0.11E-12	15.24	0.87E-12	21.88
6	0.11E-16	76.51	0.13E-13	12.01	0.20E-13	11.41	0.63E-13	15.98	0.45E-12	31.31
7	0.56E-16	40.50	0.15E-13	9.96	0.26E-13	10.27	0.11E-12	15.37	0.41E-12	34.32
8	0.16E-14	20.62	0.26E-13	6.35	0.42E-13	8.30	0.22E-12	12.37	0.91E-12	21.20
9	0.90E-17	75.29	0.73E-14	12.79	0.12E-13	12.30	0.60E-13	18.36	0.56E-12	24.77
10	0.75E-16	70.54	0.58E-14	14.68	0.11E-13	15.04	0.45E-13	21.58	0.23E-12	36.37
11	0.30E-16	76.26	0.64E-14	13.34	0.14E-13	11.99	0.58E-13	19.11	0.42E-12	27.97
12	0.11E-15	42.11	0.11E-13	10.73	0.19E-13	10.90	0.75E-13	15.58	0.39E-12	29.25
FETO	0.41E-15	13.64	0.15E-13	4.36	0.21E-13	4.39	0.94E-13	5.91	0.55E-12	9.10
PAREDE UTERINA	0.43E-15	14.10	0.11E-13	4.90	0.19E-13	5.01	0.83E-13	7.48	0.44E-12	12.34

E - ENERGIA DO FONTO (MEV)

H - ECSE EQUIVALENTE MÉDIA (REM/FONTO)

CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100  $\sigma/\bar{H}$ )

TABELA 4.11) - CCSE EQUIVALENTE MÉDIA PROVOCADA PELA FORTA AC CCLO ASCENDENTE - SEGUNDO TRIMESTRE

COMPARTIMENTOS	0,02		0,05		0,10		0,50		4,00	
	F	CV	H	CV	H	CV	H	CV	H	CV
1	0.22E-14	21.22	0.16E-12	5.05	0.54E-13	9.18	0.16E-12	17.04	0.11E-11	25.60
2	0.60E-15	35.54	0.11E-12	10.10	0.32E-13	11.54	0.18E-12	17.6.	0.78E-12	21.38
3	0.21E-14	15.57	0.14E-12	5.63	0.52E-13	5.65	0.14E-12	17.32	0.11E-11	25.22
4	0.65E-14	11.27	0.24E-12	7.75	0.75E-13	7.70	0.35E-12	12.57	0.15E-11	22.53
5	0.10E-15	27.26	0.41E-13	6.52	0.15E-13	6.51	0.65E-13	10.10	0.41E-12	15.68
6	0.21E-16	47.55	0.26E-13	8.43	0.12E-13	7.01	0.58E-13	10.34	0.35E-12	16.42
7	0.62E-16	21.75	0.42E-13	7.00	0.15E-13	6.41	0.65E-13	5.75	0.23E-12	27.57
8	0.24E-15	23.12	0.63E-13	5.65	0.26E-13	5.72	0.52E-13	8.65	0.54E-12	14.04
9	0.27E-18	55.61	0.12E-13	11.77	0.56E-14	8.60	0.26E-13	12.25	0.15E-12	16.55
10	0.67E-15	100.00	0.10E-13	12.70	0.44E-14	10.46	0.22E-13	11.50	0.15E-12	16.54
11	0.36E-16	76.60	0.13E-13	11.47	0.55E-14	8.60	0.25E-13	12.15	0.14E-12	15.21
12	0.46E-17	86.28	0.17E-13	5.93	0.58E-14	8.50	0.31E-13	11.14	0.27E-12	14.28
FETO	0.21E-15	6.14	0.34E-12	3.12	0.12E-13	2.93	0.50E-13	3.71	0.31E-12	5.35
PARECE UTERINA	0.32E-14	3.28	0.46E-12	2.80	0.20E-13	2.86	0.90E-13	4.14	0.43E-12	6.58

E - ENERGIA CC FCTON (PEV)

H - CCSE EQUIVALENTE MEDIA (REP/FCTON)

CV- COEFICIENTE DE VARIACAO (1/CC  $\sigma^2/H$ )

TABELA 4.12 - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA FREQUADA PELA FONTE AO CULO ASCENDENTE - TERCEIRO TRIMESTRE

ENERGIAS	0.02		0.05		0.10		0.50		4.00	
	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV
1	0.15E-16	53.6E	0.66E-14	11.05	0.13E-13	11.67	0.62E-13	18.17	0.57E-12	24.94
2	0.62E-16	72.94	0.54E-14	14.09	0.12E-13	12.04	0.56E-13	19.18	0.27E-12	36.34
3	0.12E-16	63.01	0.60E-14	14.25	0.12E-13	11.74	0.36E-13	16.35	0.56E-12	24.79
4	0.12E-16	46.54	0.12E-13	11.01	0.17E-13	11.17	0.57E-13	18.52	0.34E-12	31.02
5	0.31E-15	64.30	0.16E-14	12.14	0.42E-14	9.56	0.23E-13	11.45	0.15E-12	17.71
6	0.0	0.0	0.11E-14	15.71	0.35E-14	10.33	0.17E-13	12.81	0.12E-12	19.64
7	0.40E-20	100.00	0.15E-14	12.00	0.45E-14	9.18	0.17E-13	12.75	0.18E-12	16.07
8	0.55E-16	62.03	0.27E-14	9.19	0.61E-14	8.17	0.32E-13	10.06	0.14E-12	17.72
9	0.0	0.0	0.34E-15	20.72	0.91E-15	15.55	0.58E-14	16.72	0.85E-13	18.59
10	0.0	0.0	0.18E-15	25.26	0.89E-15	16.12	0.68E-14	17.8	0.55E-13	21.14
11	0.0	0.0	0.29E-15	21.01	0.10E-14	13.38	0.83E-14	15.78	0.57E-13	23.08
12	0.0	0.0	0.28E-15	20.25	0.10E-14	14.26	0.47E-14	19.61	0.67E-13	27.57
FETO	0.62E-16	42.02	0.12E-14	5.75	0.29E-14	4.31	0.14E-13	4.87	0.11E-12	6.26
PARCELA TERINA	0.72E-16	16.39	0.47E-14	4.03	0.84E-14	3.76	0.36E-13	5.33	0.21E-12	6.27

E - ENERGIA DO FOTON (MEV)

H - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA (REM/FOTON)

CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100 S/D)

TABELA 4.12 - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA FRCVCCADA PELA FONTE NO CICLO DESCENDENTE - PRIMEIRO TRIMESTRE

ENERGIAS	0.02		0.05		0.10		0.50		4.00	
	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV	$\bar{H}$	CV
COMPARTIMENTOS										
1	0.65E-15	59.52	0.16E-13	26.07	0.22E-13	22.05	0.16E-12	39.68	0.17E-11	57.37
2	0.85E-16	72.81	0.16E-13	24.44	0.25E-13	22.15	0.51E-13	39.62	0.17E-11	52.13
3	0.15E-16	82.12	0.12E-13	29.33	0.30E-13	21.66	0.60E-13	42.42	0.26E-12	55.54
4	0.53E-16	59.24	0.78E-14	29.88	0.15E-13	31.43	0.97E-13	44.52	0.18E-12	87.84
5	0.12E-16	69.45	0.64E-14	15.41	0.16E-13	12.57	0.24E-13	25.69	0.39E-12	27.35
6	0.56E-16	46.38	0.12E-13	12.03	0.16E-13	12.02	0.94E-13	16.58	0.51E-12	28.72
7	0.26E-16	50.62	0.64E-14	16.37	0.11E-13	14.23	0.81E-13	19.44	0.50E-12	30.29
8	0.14E-17	64.80	0.40E-14	20.73	0.14E-13	14.40	0.31E-13	27.81	0.17E-12	29.51
9	0.20E-15	100.00	0.27E-14	24.63	0.68E-14	16.52	0.24E-13	26.28	0.30E-12	32.36
10	0.0	0.0	0.37E-14	18.31	0.59E-14	17.61	0.42E-13	21.77	0.29E-12	25.07
11	0.0	0.0	0.32E-14	15.25	0.78E-14	16.29	0.27E-13	24.69	0.17E-12	44.73
12	0.0	0.0	0.20E-14	23.62	0.55E-14	19.63	0.27E-13	31.12	0.18E-12	36.77
FETO	0.26E-16	46.32	0.55E-14	68.30	0.11E-13	5.94	0.47E-13	8.13	0.32E-12	11.57
PAREDE UTERINA	0.11E-15	27.37	0.46E-14	7.74	0.83E-14	6.91	0.46E-13	17.49	0.22E-12	17.58

E - ENERGIA DO FLUXO (PEV)

H - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA (REM/FCTCM)

CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100  $\sigma/\bar{H}$ )

TABELA 4.14 - COEF. EQUIVALENTE MÉDIA PROPICADA PELA FONTE DO CULO DESCENDENTE - SEGUNDO TRIMESTRE

COMPARTIMENTOS	0.02		0.05		0.10		0.50		4.00	
	$\bar{M}$	CV	$\bar{M}$	CV	$\bar{M}$	CV	$\bar{M}$	CV	$\bar{M}$	CV
1	0.0	0.0	0.35E-15	63.30	0.30E-14	41.94	0.28E-13	45.50	0.81E-13	56.20
2	0.0	0.0	0.23E-14	31.85	0.48E-14	32.87	0.38E-13	33.43	0.34E-12	43.14
3	0.0	0.0	0.19E-14	40.67	0.30E-14	33.38	0.21E-13	42.83	0.14E-12	62.97
4	0.0	0.0	0.55E-15	71.63	0.20E-14	48.20	0.20E-13	40.31	0.14E-12	67.88
5	0.0	0.0	0.85E-15	22.12	0.47E-14	13.95	0.26E-13	17.76	0.23E-12	20.51
6	0.24E-13	54.26	0.32E-14	14.11	0.92E-14	10.86	0.74E-13	10.66	0.49E-12	14.43
7	0.0	0.0	0.11E-14	22.71	0.44E-14	14.78	0.31E-13	16.13	0.28E-12	19.31
8	0.0	0.0	0.56E-15	27.20	0.21E-14	21.73	0.16E-13	21.36	0.12E-12	20.58
9	0.0	0.0	0.52E-15	25.83	0.22E-14	15.45	0.27E-13	13.58	0.26E-12	15.44
10	0.58E-16	100.00	0.23E-14	13.16	0.65E-14	9.41	0.67E-13	8.94	0.51E-12	10.88
11	0.0	0.0	0.62E-15	24.66	0.23E-14	15.64	0.24E-13	14.08	0.20E-12	16.48
12	0.0	0.0	0.25E-15	32.08	0.98E-15	22.76	0.15E-13	17.13	0.16E-12	19.22
FETO	0.22E-17	54.65	0.11E-14	8.77	0.38E-14	6.01	0.34E-13	5.07	0.28E-12	5.80
PAPEDE UTERINA	0.51E-17	53.10	0.87E-15	11.83	0.20E-14	9.26	0.21E-13	8.85	0.19E-12	10.66

E - ENERGIA DO FCTCN (PEV)

M - COEF. EQUIVALENTE MÉDIA (REP/FCTCN)

CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100  $\sigma/\bar{M}$ )

TABELA 4.15 - ECSE EQUIVALENTE MÉDIA PRODUZIDA PELA FONTE NO COLCO DESCENDENTE - TERCEIRO TRIMESTRE

ENERGIAS	0.02		0.05		0.10		0.50		4.00	
	M	CV	M	CV	M	CV	M	CV	M	CV
CGPARTIMENTOS										
1	0.62E-12	2.92	0.65E-12	4.18	0.11E-12	4.79	0.45E-12	7.45	0.24E-11	12.27
2	0.57E-12	3.03	0.65E-12	4.13	0.11E-12	4.73	0.51E-12	7.27	0.27E-11	11.56
3	0.64E-12	2.85	0.63E-12	4.11	0.11E-12	4.94	0.46E-12	7.54	0.23E-11	12.29
4	0.16E-11	1.66	0.12E-11	3.65	0.16E-12	4.12	0.65E-12	6.23	0.38E-11	9.80
5	0.16E-14	20.12	0.66E-13	5.32	0.17E-13	5.02	0.67E-13	7.25	0.40E-12	10.94
6	0.54E-15	29.29	0.66E-13	5.29	0.18E-13	5.00	0.71E-13	6.80	0.46E-12	10.03
7	0.13E-14	22.01	0.64E-13	5.47	0.15E-13	5.25	0.67E-13	7.00	0.37E-12	11.24
8	0.22E-14	17.58	0.52E-13	5.28	0.16E-13	5.16	0.66E-13	7.19	0.35E-12	11.95
9	0.70E-16	61.14	0.14E-13	10.84	0.28E-14	9.31	0.16E-13	11.56	0.63E-13	17.87
10	0.0	0.0	0.11E-13	12.01	0.22E-14	9.41	0.11E-13	13.32	0.57E-13	17.28
11	0.0	0.0	0.11E-13	11.56	0.25E-14	8.91	0.16E-13	10.54	0.53E-13	17.70
12	0.70E-17	100.00	0.14E-13	10.83	0.32E-14	8.29	0.18E-13	10.20	0.56E-13	16.29
FETO	0.51E-13	1.29	0.56E-13	1.93	0.14E-13	2.01	0.60E-13	2.48	0.34E-12	3.66
PARECE LTERINA	0.25E-12	0.67	0.23E-12	1.35	0.55E-13	1.53	0.26E-12	2.13	0.13E-11	3.41

E - ENERGIA DO FCTCN (PEV)

M - ECSE EQUIVALENTE MÉDIA (MED/FCTCN)

CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100  $\sigma^2/\bar{M}$ )

TABELA 4.16 - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA FOCUCADA PELA FONTE NO SIGMIDE E RETC - PRIMEIRO TRIMESTRE

COMPARTIMENTOS	0.02		0.05		0.1)		0.5)		4.0)	
	H	CV	H	CV	H	CV	H	CV	H	CV
1	0.90E-14	23.69	0.64E-13	12.54	0.89E-13	14.84	0.25E-12	29.01	0.11E-11	49.84
2	0.16E-14	26.29	0.36E-13	16.21	0.65E-13	16.83	0.20E-12	30.67	0.17E-11	42.10
3	0.13E-14	56.81	0.36E-13	17.07	0.50E-13	15.93	0.28E-12	26.06	0.48E-12	86.22
4	0.13E-14	30.19	0.47E-13	14.41	0.58E-13	15.41	0.16E-12	36.39	0.98E-12	51.1
5	0.14E-14	19.74	0.32E-13	7.95	0.48E-13	7.76	0.23E-12	11.92	0.75E-12	22.90
6	0.42E-15	35.58	0.21E-13	9.46	0.30E-13	9.49	0.11E-12	14.51	0.80E-12	23.95
7	0.14E-14	49.74	0.15E-13	10.76	0.22E-13	10.16	0.13E-12	16.18	0.61E-12	26.15
8	0.34E-15	46.16	0.21E-13	6.78	0.36E-13	8.97	0.10E-12	15.34	0.72E-12	25.03
9	0.16E-15	33.55	0.10E-13	11.25	0.19E-13	10.61	0.79E-13	17.82	0.39E-12	2.96
10	0.49E-17	58.18	0.93E-14	11.83	0.11E-13	12.54	0.68E-13	17.42	0.46E-12	25.78
11	0.98E-20	100.00	0.67E-14	15.14	0.13E-13	13.38	0.63E-13	19.56	0.27E-12	33.35
12	0.72E-16	80.34	0.10E-13	11.59	0.19E-13	10.98	0.57E-13	19.66	0.47E-12	27.33
FETO	0.45E-15	12.26	0.17E-13	4.01	0.26E-13	4.00	0.11E-12	5.70	0.55E-12	8.58
PAREDE UTERINA	0.45E-15	13.20	0.14E-13	4.43	0.21E-13	4.58	0.89E-13	7.31	0.46E-12	12.48

H - ENERGIA DO FCTCA (MEV)

H - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA (REM/FCTCA)

CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100 σ/H)

TABELA 4.17 - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA PROVOCADA PELA FONTE NC SIGMOIDE E RETC - SEGUNDO TRIMESTRE

ENERGIAS	0.02		0.05		0.10		0.50		4.00	
	H	CV	H	CV	H	CV	H	CV	H	CV
COMPARTIMENTOS										
1	0.14E-11	2.01	0.25E-12	3.64	0.25E-12	4.39	0.14E-11	6.46	0.77E-11	10.16
2	0.75E-12	2.71	0.17E-12	4.38	0.20E-12	5.16	0.95E-12	7.82	0.54E-11	11.60
3	0.25E-12	3.67	0.12E-12	5.05	0.14E-12	5.87	0.74E-12	8.53	0.27E-11	16.45
4	0.74E-12	2.69	0.17E-12	4.33	0.15E-12	5.26	0.11E-11	7.35	0.25E-11	13.56
5	0.63E-14	10.25	0.30E-13	4.22	0.42E-13	4.47	0.18E-12	6.51	0.73E-12	11.54
6	0.25E-14	12.45	0.24E-13	4.70	0.37E-13	4.82	0.15E-12	7.11	0.78E-12	11.43
7	0.27E-14	16.25	0.20E-13	5.21	0.32E-13	4.94	0.12E-12	7.41	0.77E-12	11.82
8	0.38E-14	12.22	0.26E-13	4.65	0.35E-13	4.53	0.15E-12	7.00	0.73E-12	11.54
9	0.67E-16	59.52	0.50E-14	7.34	0.97E-14	6.83	0.58E-13	8.43	0.29E-12	14.22
10	0.70E-16	82.44	0.52E-14	7.40	0.10E-13	6.68	0.41E-13	5.77	0.21E-12	16.27
11	0.55E-16	54.51	0.51E-14	8.03	0.10E-13	6.40	0.45E-13	8.76	0.25E-12	14.70
12	0.13E-15	37.35	0.50E-14	8.07	0.12E-13	6.32	0.44E-13	9.50	0.31E-12	13.85
FETO	0.45E-13	1.32	0.20E-13	1.82	0.25E-13	1.89	0.13E-12	2.38	0.65E-12	3.72
PAREDE UTERINA	0.17E-12	0.82	0.45E-13	1.50	0.61E-13	1.69	0.28E-12	2.43	0.15E-11	3.84

E - ENERGIA DO FOTON (MEV)

H - DOSE EQUIVALENTE MÉDIA (REP/FOTON)

CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100  $\sigma^2/\bar{H}$ )

TABELA 4.18 - COSE EQUIVALENTE MÉDIA PRODUZIDA PELA FONTE NO SIGMIDE E RETC - TERCEIRO TRIMESTRE

ENERGIAS	0.02		0.05		0.10		0.50		4.00	
	M	CV	M	CV	M	CV	M	CV		
COMPARTIMENTOS										
1	0.24E-12	4.63	0.65E-12	4.47	0.90E-12	4.99	0.34E-11	8.41	0.16E-10	13.58
2	0.24E-12	4.61	0.60E-12	5.01	0.85E-12	5.38	0.31E-11	8.84	0.16E-10	13.31
3	0.25E-12	4.42	0.54E-12	5.18	0.65E-12	5.71	0.31E-11	8.63	0.14E-10	15.00
4	0.24E-12	4.55	0.62E-12	4.88	0.72E-12	5.31	0.28E-11	9.19	0.14E-10	15.15
5	0.62E-16	24.14	0.62E-13	5.32	0.14E-12	5.20	0.61E-12	7.12	0.25E-11	11.67
6	0.25E-16	40.58	0.65E-12	6.09	0.12E-12	5.32	0.61E-12	7.08	0.25E-11	11.92
7	0.24E-16	53.67	0.64E-13	6.30	0.12E-12	5.16	0.52E-12	7.51	0.27E-11	12.73
8	0.61E-16	23.87	0.71E-13	6.00	0.15E-12	5.18	0.51E-12	7.88	0.27E-11	11.99
9	0.0	0.0	0.11E-13	12.22	0.22E-13	9.44	0.14E-12	12.81	0.56E-12	16.49
10	0.0	0.0	0.93E-14	12.54	0.34E-13	8.67	0.17E-12	11.57	0.11E-11	17.44
11	0.0	0.0	0.13E-13	11.94	0.40E-13	8.36	0.18E-12	11.53	0.14E-11	17.44
12	0.0	0.0	0.10E-13	12.50	0.36E-13	8.99	0.14E-12	11.75	0.81E-12	15.70
FEITO	0.12E-14	2.26	0.70E-13	2.24	0.12E-12	2.19	0.45E-12	2.77	0.28E-11	4.07
PAREDE UTERINA	0.52E-13	0.66	0.22E-12	1.33	0.28E-12	1.51	0.13E-11	2.09	0.64E-11	3.40

E - ENERGIA DO FLUXO (PEV)

M - COSE EQUIVALENTE MÉDIA (REP/FUNCT)

CV - COEFICIENTE DE VARIACAO (100 σ/M)

## CAPÍTULO 5

### DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

#### 5.1 – Primeiro Trimestre

Para análise deste trimestre utilizamos as Tabelas IV.1, IV.4, IV.7, IV.10, IV.13 e IV.16.

A dose provocada pela fonte no estômago e no colon transversal é maior nos compartimentos (3, 7, 11) localizados na parte superior e as menores nos compartimentos (1, 5, 9), na parte inferior. Nos poucos casos em que isto não ocorre, os valores de  $\bar{H}$  encontram-se no intervalo definido pelo seu coeficiente de variação.

Na 1ª região (compartimentos 1, 2, 3 e 4), os valores de  $\bar{H}$  provocados pela fonte intestino delgado, flutuam e isto porque o intestino delgado não se apoia sobre a mesma, mas unicamente em parte sobre os compartimentos 6, 7 e 8. Em vista do rebatimento do intestino delgado sobre a ordenada  $z$ , a 1ª região de compartimento é vista sob o mesmo ângulo sólido. E isto ocorre porque os valores de  $H$  são muito próximos, a não ser para a energia de 20 KeV, onde a atenuação do feixe é apreciável e está sob a influência do efeito fotoelétrico. Na 2ª região (compartimentos 5, 6, 7 e 8), em vista do que vimos, temos a maior dose no compartimento 7 e a menor no 5. O mesmo ocorre para a 3ª região (compartimentos 9, 10, 11, 12) com maior dose no 11 e menor no 9.

As variações de dose nos diferentes compartimentos provocados pela fonte no colon ascendente, são relativamente pequenas. Isto deve-se ao fato do colon ascendente encontrar-se ao lado da parte cônica do útero, a uma certa distância dele e apresentar uma variação em  $z$ , de  $13,58 \leq z \leq 22,56$  cm, enquanto que o útero, na sua parte cônica chega no máximo a 17,57 cm. Em vista disto podemos dizer que o útero encontra-se aproximadamente na base do colon ascendente, a uma certa distância, e portanto é vista pelo colon ascendente quase como um ponto.

As doses para uma mesma energia, em diferentes compartimentos, apresentam um pequeno intervalo de variação, em consequência das posições relativas do útero em correspondência ao colon descendente, apesar de encontrar-se afastado do útero e sua posição em  $z$  estar no intervalo  $8,2 \leq z \leq 22,56$  cm, e o útero variar no intervalo  $7,22 \leq z \leq 18,55$  cm, observamos que, em consequência do colon descendente estar posicionado em frente aos compartimentos 5, 6, 7 e 8 e os demais lateralmente, as doses na 1ª região e 3ª região flutuam e na 2ª região temos a máxima dose no compartimento 6 e a mínima no 8.

Para o caso do valor de  $H$  provocada pela fonte colon sigmóide e reto, na 1ª região não há compartimento que ocorra maior ou menor dose, pois o colon sigmóide gira em torno do vértice do cone, descendo em direção ao reto. Nas 2 regiões seguintes temos maiores doses nos compartimentos 5 e 9, que estão mais próximos à região da fonte, e as menores doses nos compartimentos 7 e 11, que estão mais afastados.

Os valores de  $\bar{H}$  na parede uterina provocados pelas fontes no estômago, intestino delgado, colon ascendente, colon descendente, colon sigmóide e reto, são menores que as no feto, com exceção do colon transversal, onde ocorre o inverso. Este fato pode ser explicado pela posição relativa da fonte em relação ao centro geométrico de dose do órgão alvo.

Para cada compartimento, os valores de  $\bar{H}$  provocados pelas fontes que compõem o trato gastrointestinal, são crescentes com a energia.

A dose provocada pela fonte nos órgãos que se encontram acima do útero, está distribuída em ordem decrescente, partindo do colon transversal, seguido pelo estômago e por fim, pelo intestino delgado, que apresenta dose mais baixa.

A dose provocada pela fonte no colon sigmóide e reto, flutua muito de compartimento para compartimento, alcançando valores superiores aos provocados pelo colon transversal e também valores inferiores aos do intestino delgado. Isto pode ser explicado, como consequência da posição deste órgão com relação aos vários compartimentos dos órgãos alvo, e das figuras geométricas complexas que apresentam estes órgãos.

As doses provocadas pela fonte no colon ascendente e colon descendente em 60% dos casos apresentam os menores valores em 40% estão acima da dose provocada pelo intestino delgado.

A dose provocada pelo colon ascendente é sempre maior que a provocada pelo colon descendente, a não ser, para a energia de 500 KeV, onde em 15% dos casos ocorre o inverso e, para a energia de 4 MeV, aumenta para 30%.

## 5.2 – Segundo Trimestre

Para análise deste período utilizamos as Tabelas IV.2, IV.5, IV.8, IV.11 e IV.17.

Como no 1º trimestre, também as maiores doses provocadas pela fonte no estômago e no colon transversal, ocorrem nos compartimentos 3, 7 e 11 e as menores nos 1, 5 e 9.

No caso da fonte situada no intestino delgado, este passa a apoiar-se parcialmente nos compartimentos da 1ª e 2ª região, provocando nos mesmos, doses muito próximas. Somente nos compartimentos da 3ª região é que continuam apresentando dose máxima no compartimento 11 e mínima no 9.

As maiores doses provocadas pelo colon ascendente, ocorrem nos compartimentos 4, 8 e 12, localizados na parte superior do útero e em frente ao colon ascendente, e as menores nos compartimentos 2, 6 e 10, localizados na parte inferior e mais afastado do colon ascendente. Isto pode ser explicado, pelo fato do colon ascendente encontrar-se ao lado da secção cônica e esférica inferior do útero, mas com coordenadas em z diferentes. Pela variação do colon ascendente e da secção cônica e esférica do útero, podemos considerar que a fonte encontra-se na parte superior em relação ao alvo, por isso os compartimentos superiores do alvo apresentam maior dose.

Com o crescimento do útero, o colon descendente encontra-se mais próximo das 3 regiões dos compartimentos. O útero varia em z,  $6,11 \leq z \leq 26,23$  cm, então observamos que na 1ª região, o compartimento 2 apresenta maior dose e o 4, a menor. O mesmo ocorrendo com as demais regiões, isto é, os compartimentos 6 e 10 recebem as maiores doses e os 8 e 12, as menores.

Considerando a dose provocada pelo colon sigmóide e reto, neste período temos que as maiores doses ocorrem nos compartimentos 1 e 5 e as menores nos 3 e 7, em vista da posição relativa destes com relação ao colon sigmóide e reto. As doses na 3ª região flutuam nos diferentes compartimentos em virtude do órgão fonte, encontrar-se afastado destes compartimentos e vê-los sob o mesmo ângulo sólido.

Os valores de  $\bar{H}$  na parede uterina provocada pelas fontes no estômago, colon transversal, colon ascendente, colon descendente, colon sigmóide e reto, são maiores que as do feto, exceto no caso da fonte no intestino delgado, por motivos já expostos.

Os valores de  $\bar{H}$  provocados pelas fontes do intestino delgado e colon transversal, são crescentes com a energia.

Para o caso da fonte no estômago, colon sigmóide e reto os valores de  $\bar{H}$  apresentam flutuações quando a energia passa de 50 KeV para 100 KeV (ver Tabela V.2.1, V.2.2, V.2.3). A maior variação de dose, ocorre em 20 KeV e 50 KeV por influência do efeito fotoelétrico. O decréscimo da dose entre 50 e 100 KeV, pode ser explicado, admitindo-se que neste intervalo de energia temos uma pequena probabilidade de efeito fotoelétrico, por se encontrar longe do pico do efeito fotoelétrico da camada K e também uma pequena probabilidade de espalhamento Compton, por ser uma energia muito baixa para este fenômeno. Com o crescimento da energia, a dose volta a aumentar, em vista do espalhamento Compton apresentar uma máxima absorção em 500 KeV, com pequeno decréscimo até chegar em 4 MeV.

As doses provocadas pela fonte no colon transversal, aumentam até 50 KeV, diminuem na faixa de 100 KeV e voltam a aumentar em 500 KeV. Isto ocorre, pois o útero é em grande parte recoberto pelo intestino delgado, em sua posição normal, e pela fração rebatida e deslocada, que se interpõem entre o útero e colon transversal. Portanto, o fóton de energia de 100 KeV deve receber um espalhamento Compton múltiplo, de maneira tal que o feixe de radiação quando se encontra no feto, possui uma energia média, situada na faixa, onde a probabilidade de ocorrer efeito fotoelétrico é pequena e a Compton também, provocando assim uma diminuição do valor de  $\bar{H}$  por compartimentos. Processo análogo ocorre com a fonte localizada no colon ascendente.

TABELA 5.2.1 - FATOR DE VARIAÇÃO DE DCSE EM FUNÇÃO DAS ENERGIAS PARA O PRIMEIRO TRIMESTRE

COMPARTI- MENTOS	$F(0.95) / F(0.02)$	$H(0.10) / H(0.95)$	$H(0.50) / H(0.10)$	$F(4.00) / F(0.50)$
1	15.55	1.11	6.34	3.74
2	11.30	1.03	6.00	6.88
3	4.86	1.36	3.76	7.15
4	12.37	0.93	5.25	3.50
5	42.78	1.67	4.35	5.31
6	27.60	1.45	3.72	5.07
7	5.92	1.38	4.25	4.72
8	157.06	1.32	4.43	4.81
9	106.71	1.80	5.90	4.95
10	101.36	1.75	4.64	3.73
11	16.30	1.89	3.63	4.52
12	57.60	1.45	4.27	6.05
FETC	12.50	1.48	4.62	4.93
PAR.UTE.	5.76	1.55	4.49	4.77

TABELA 5.2.2 - FATOR DE VARIAÇÃO DE DOSE EM FUNÇÃO DAS ENERGIAS PARA O SEGUNDO TRIMESTRE

COMPARTI MENTES	$\frac{F(0.05)}{F(0.02)}$	$\frac{H(0.10)}{H(0.05)}$	$\frac{H(0.50)}{H(0.10)}$	$\frac{F(4.00)}{H(0.50)}$
1	167.07	0.25	4.67	4.63
2	113.01	0.28	4.31	4.03
3	54.60	0.28	4.72	5.65
4	72.20	0.26	5.18	4.81
5	4370.00	0.32	4.30	5.78
6	1156.98	0.31	4.36	4.33
7	127.00	0.28	4.16	4.63
8	6076.19	0.32	4.08	5.45
9	0.0	0.31	4.62	6.16
10	0.0	0.35	3.61	6.11
11	0.0	0.29	4.04	6.17
12	0.0	0.32	4.56	5.45
FETO	181.00	0.26	4.37	5.17
PAQUETE	9.90	0.36	4.68	5.11

TABELA 5.2.3 - FATOR DE VARIACÃO DE DCSE EM FUNÇÃO DAS ENERGIAS PARA O  
TERCEIRO TRIMESTRE

COMPARTI- MENTOS	$F(0.95) / F(0.02)$	$H(0.10) / H(0.95)$	$F(0.50) / H(0.10)$	$F(4.00) / H(0.50)$
1	3.76	0.14	3.47	4.63
2	10.90	0.15	3.83	5.00
3	9.38	0.18	3.24	3.97
4	1.13	0.16	2.84	5.76
5	11.00	0.28	4.19	5.40
6	6.15	0.23	4.04	6.30
7	3.50	0.17	4.97	4.42
8	6.81	0.19	3.96	5.90
9	117.00	0.27	6.04	7.69
10	52.40	0.22	4.72	10.10
11	75.74	0.23	4.93	8.87
12	103.85	0.25	6.82	7.14
FETO	1.52	0.17	4.20	6.02
PAR.UTE.	1.57	0.28	4.03	5.80

Para energia de 20 KeV, a não ser na 1ª região de compartimentos, em que a dose flutua, os demais apresentam ordem decrescente, que inicia no intestino delgado, passa pelo colon transverso e chega com dose mais baixa no estômago. É uma situação normal quando o mesmo tipo de fenômeno de interação ocorre e portanto a dose é uma função da distância.

A distribuição de dose no sentido crescente para obter 50 KeV, ocorre na 1ª região, com estômago, seguido o colon transverso e intestino delgado. Na 2ª região, o estômago continue provocando a dose mais elevada e o colon transverso e intestino delgado mudam de posição. Para a 3ª região, a distribuição de dose ocorre no sentido decrescente ou seja intestino delgado, estômago e colon transverso, para todas as energias, exceto para 20 KeV.

Com relação as demais energias, a maior dose é provocada pela fonte estômago seguida do intestino delgado e colon transverso, para a 1ª região e somente para 50 KeV e 4 MeV para a 2ª região. Para 100 KeV e 500 KeV, na 2ª região, o estômago e intestino delgado trocam de posição, ficando na mesma disposição que para a fonte estômago, na 3ª região, exceto para 20 KeV.

A distribuição de dose provocada pela fonte colon sigmóide e reto, flutua razoavelmente, sendo que 70% situam-se em doses abaixo do órgão fonte, que provoca a dose intermediária, entre aqueles que se encontram acima do útero. Exceto para o caso relativo a energia de 20 KeV, que 100% das doses se encontram acima dos valores do órgão que provocam dose intermediária.

A dose provocada pelo colon ascendente é sempre maior do que aquela provocada pelo colon descendente, para todas as energias, exceto para 4 MeV e 500 KeV, onde 26% dos casos é o colon descendente que assume maior valor.

A distribuição de dose provocada pelo colon ascendente e colon descendente, situa-se sempre abaixo da maior dose provocada pelos órgãos que se encontram acima do útero, exceto para 37% para maior e menor energia, isto é, 4 MeV e 20 KeV, e 13% para as demais regiões.

### 5.3 – Terceiro Trimestre

Para análise deste período, foram utilizadas as Tabelas IV.3, IV.6, IV.12, IV.15 e IV.18.

Os valores de  $\bar{H}$  provocados pela fonte no colon ascendente, nos diferentes compartimentos são relativamente pequenos e os compartimentos de maior ou menor dose não são bem definidos. Isto se deve ao fato do colon ascendente, encontrar-se encostado à semi-esfera inferior e metade da secção cônica do útero, envolvendo-as, isto é, assumindo uma forma triangular. Isto pode ser facilmente visto pela variação em z do colon ascendente e do útero, já mencionados. Desta maneira, o colon ascendente, vê também a secção diametral da esfera de frente, evitando que haja compartimentos em posição privilegiada em relação à dose.

Neste período, o colon descendente encosta completamente no útero, abraçando a 2ª região e parte da 1ª e 3ª. Só que o intervalo de variação no eixo z nas regiões mais próximas do colon ascendente, varia de 6,34 a 29 cm aproximadamente. Em vista disto, só o compartimento 4, que permanece na semi-esfera inferior, é que apresenta a maior dose. Dentro de seu grupo, as demais flutuam.

O órgão fonte colon sigmóide e reto, neste período, pode ser considerado, a não ser no vértice do útero, como estando afastado de todos os compartimentos, vendo-os praticamente sob o mesmo ângulo sólido, por isso as doses não variam.

Os valores de  $\bar{H}$ , na parede uterina provocadas pelas fontes no estômago, intestino delgado, colon ascendente, colon descendente colon sigmóide e reto, são maiores que as no feto, com exceção do colon transverso onde ocorre o inverso, por motivos já expostos.

Os valores de  $\bar{H}$  provocados pelas fontes no intestino delgado, colon ascendente, colon sigmóide e reto, são crescentes com a energia em cada compartimento.

A dose provocada pela fonte no estômago, relativo a energia, tem justificativa análoga ao 2º trimestre.

Para fonte localizada no colon transverso, os valores de  $\bar{H}$  aumentam até 50 KeV, mas decrescem na faixa de 500 KeV e aumentam até 4 MeV. Uma justificativa seria que, a massa do intestino delgado rebatido e deslocado, interposta entre o útero e colon transverso, torna-se maior chegando a provocar uma forma bem triangular, deste último (item 3.5). Isto faz com que o fenômeno de espalhamento Compton múltiplo, ocorra em 500 KeV e não em 100 KeV. Para verificação desta justificativa esteja correta, devemos modificar o programa do computador utilizado neste trabalho, fazendo com que este forneça tabelas das histórias dos fótons, mostrando a seqüência da interação Compton múltipla.

Considerando a fonte no colon descendente, os valores de  $\bar{H}$  aumentam até 50 KeV, diminuem na faixa de 100 KeV e aumentam a partir de 500 KeV, por motivos já expostos.

## CAPÍTULO 6

### SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- 1) Completar o trabalho realizado para energias de 0,03; 0,2; 1,0; 1,5 e 2,0 MeV.
- 2) Cálculo da dose equivalente recebida pelo feto, supondo material radioativo no T.G.I., utilizando o método do "fator de Build-up" e comparar os resultados com os obtidos pelo método de Monte Carlo, utilizado neste trabalho. Isto tem a finalidade de verificar, pelos valores dos coeficientes de variação ( $cv = \frac{100\sigma}{\bar{H}}$ ), o grau de confiança de cada método.
- 3) Modificar o programa "The Monte Carlo Woman Pregnant Program" utilizado para o cálculo da dose equivalente média ( $\bar{H}$ ), para fornecer também tabelas com as histórias dos fótons mostrando a seqüência de interação Compton múltiplas e possivelmente a região de efeito fotoelétrico, para confirmar ou refutar as explicações dadas no item 5.3.
- 4) Cálculo da dose equivalente recebida pelo feto, durante a troca de sangue da mãe com o filho, supondo o material absorvido no sangue.
- 5) Completar o trabalho da bexiga<sup>(5)</sup>, estudando o material radioativo eliminado na via urinária.
- 6) Cálculo da dose equivalente no ovário, supondo o material radioativo localizado em T.G.I.
- 7) Cálculo da dose equivalente no ovário supondo o material radioativo no sistema urológico, ou seja rim e bexiga.

## CAPÍTULO 7

### PARTES ORIGINAIS DO TRABALHO

- 1) Modificada a posição do útero em relação àquela anteriormente usada, obedecendo os conceitos apresentados em textos obstétricos.

- 2) Todas as determinações relativas às modificações dos órgãos componentes do T.G.I., em relação ao crescimento do útero, no 1º, 2º e 3º trimestre de gravidez, foram mudadas tanto em sua forma geométrica, como também em suas posições iniciais, não contradizendo as posições anatômicas dadas em textos obstétricos.
- 3) Alterações do programa original na "Subrotina-Fonte", para introduzir as modificações nas posições e formas geométricas, dos diferentes órgãos componentes do T.G.I.

## APÊNDICE A

**EQUAÇÕES MATEMÁTICAS DOS ÓRGÃOS COMPONENTES DO T.G.I.  
PARA O "HOMEM REFERÊNCIA"**

Para o "homem referência", as equações dos órgãos formadores do T.G.I., segundo Snyder et al<sup>(26)</sup>, são:

O estômago é representado pela massa situada entre dois elipsóides, a saber:

$$\left(\frac{x-8}{4}\right)^2 + \left(\frac{y+4}{3}\right)^2 + \left(\frac{z-35}{8}\right)^2 < 1$$

e

$$\left(\frac{x-8}{3,39}\right)^2 + \left(\frac{y+4}{2,39}\right)^2 + \left(\frac{z-35}{7,39}\right)^2 > 1$$

O intestino delgado é representado por um cilindro circular dado pelas inequações:

$$x^2 + (y+3,8)^2 < (11,3)^2$$

$$-4,86 < y < 2,2$$

$$17 < z < 27$$

O colon ascendente é definido pelas equações:

$$(x-8,5)^2 + (y+2,36)^2 < 2,5^2$$

$$(x+8,5)^2 + (y+2,36)^2 > 1,79^2$$

$$14,45 < z < 24$$

O colon transversal é definido pelas seguintes inequações:

$$\left(\frac{y+2,36}{2,5}\right)^2 + \left(\frac{z-25,5}{1,5}\right)^2 < 1$$

$$\left(\frac{y+2,36}{1,97}\right)^2 + \left(\frac{z-25,5}{0,97}\right)^2 > 1$$

$$10,50 < x < 10,50$$

O colon descendente é descrito pelas inequações:

$$\left(\frac{x - x_0}{1,88}\right)^2 + \left(\frac{y - y_0}{2,13}\right)^2 < 1$$

$$\left(\frac{x - x_0}{1,58}\right)^2 + \left(\frac{y - y_0}{1,34}\right)^2 > 1$$

$$8,72 \leq z \leq 24$$

onde:

$$x_0 = 9 + 0,02(z - 24)$$

$$y_0 = 0,16(8,72 - z)$$

O colon sigmóide e reto são definidos pelas seguintes inequações:

**porção superior**

$$(\sqrt{(x - 3)^2 + (z - 8,72)^2} - 5,72)^2 + y^2 < (1,57)^2$$

$$(\sqrt{(x - 3)^2 + (z - 8,72)^2} - 5,72)^2 + y^2 > (0,91)^2$$

$$x \geq 3 \text{ e } z \leq 8,72$$

e

**porção inferior**

$$(\sqrt{(x - 3)^2 + z^2} - 3)^2 + y^2 < (1,57)^2$$

$$(\sqrt{(x - 3)^2 + z^2} - 3)^2 + y^2 > (0,91)^2$$

$$x < 3 \text{ e } z \geq 0$$

## APÊNDICE B

CÁLCULO DOS VOLUMES DOS DOZE COMPARTIMENTOS EM QUE  
FOI DIVIDIDO O ÚTERO

Geometricamente o útero é definido por um cone associado a uma semi-esfera (Figura B.1).

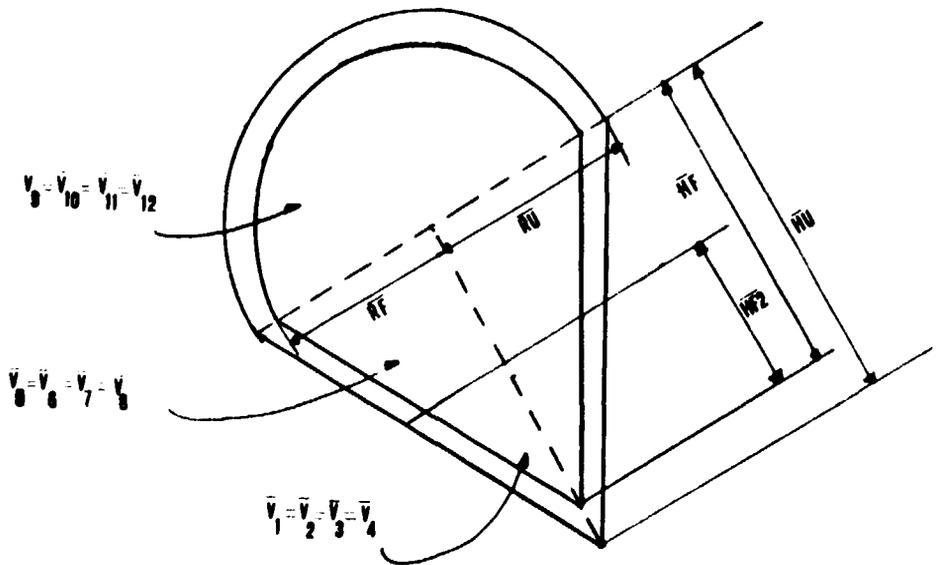


Figura B.1 – Figura geométrica que define o útero.

onde

$\bar{RF}$  → raio médio do feto

$\bar{RU}$  → raio médio do útero

$\bar{HU}$  → altura média do útero

$\bar{HF}$  → altura média do feto.

Calculamos os volumes médios dos 12 compartimentos para cada trimestre.

Para o 1º trimestre temos que:

$$\bar{RF} = 5 \text{ cm}$$

$$\overline{RU} = 6 \text{ cm}$$

$$\overline{HU} = 9,20 \text{ cm}$$

$$\overline{HF} = 8,74 \text{ cm}$$

$$\overline{HF2} = 4,37 \text{ cm}$$

$$\Theta = 33^\circ$$

Cálculo de  $\overline{V}_1 = \overline{V}_2 = \overline{V}_3 = \overline{V}_4$

$$\overline{V}_1 = \overline{V}_2 = \overline{V}_3 = \overline{V}_4 = \frac{\pi}{12} \left(\frac{\overline{RF}}{2}\right)^2 \overline{HF2}$$

Substituindo os valores temos:

$$\overline{V}_1 = \overline{V}_2 = \overline{V}_3 = \overline{V}_4 = 7,15 \text{ cm}^3$$

Cálculo de  $\overline{V}_5 = \overline{V}_6 = \overline{V}_7 = \overline{V}_8$

$$\overline{V}_5 = \overline{V}_6 = \overline{V}_7 = \overline{V}_8 = \frac{\pi}{12} \left( (\overline{RF})^2 + \overline{RF} \times \frac{\overline{RF}}{2} + \left(\frac{\overline{RF}}{2}\right)^2 \right) \times \overline{HF2}$$

Substituindo os valores, temos:

$$\overline{V}_5 = \overline{V}_6 = \overline{V}_7 = \overline{V}_8 = 50,05 \text{ cm}^3$$

Cálculo de  $\overline{V}_9 = \overline{V}_{10} = \overline{V}_{11} = \overline{V}_{12}$

$$\overline{V}_9 = \overline{V}_{10} = \overline{V}_{11} = \overline{V}_{12} = \frac{\pi}{6} (\overline{RF})^2$$

Substituindo os valores, temos:

$$\overline{V}_9 = \overline{V}_{10} = \overline{V}_{12} = 65,45 \text{ cm}^3$$

Cálculo do volume total

$$\overline{V}_T = \frac{\pi}{3} (\overline{RU})^2 \times \overline{HU} + \frac{4\pi}{6} \times (\overline{RU})^3$$

Substituindo os valores, temos:

$$\overline{V}_T = 799,22 \text{ cm}^3$$

Cálculo do volume médio do conteúdo

$$\bar{V}_c = \left(\frac{\pi}{3} \times (\overline{RF})^2 \times \overline{HF}\right) + \frac{4\pi}{6} (\overline{RF})^3$$

Substituindo os valores, temos:

$$\bar{V}_c = 490,61 \text{ cm}^3$$

Cálculo do volume da parede uterina

$$\bar{V}_p = \bar{V}_T = \bar{V}_c$$

Substituindo os valores, temos:

$$\bar{V}_p = 308,62 \text{ cm}^3$$

Para o 2º trimestre, temos os seguintes dados:

$$\overline{RF} = 9,10 \text{ cm}$$

$$\overline{RU} = 10 \text{ cm}$$

$$\overline{HU} = 14,70 \text{ cm}$$

$$\overline{HF} = 11,44 \text{ cm}$$

$$\overline{HF2} = 5,73$$

$$\Theta = 44^\circ$$

Substituindo os valores nas fórmulas anteriores obtemos:

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3 = \bar{V}_4 = 31,02 \text{ cm}^3$$

$$\bar{V}_5 = \bar{V}_6 = \bar{V}_7 = \bar{V}_8 = 217,15 \text{ cm}^3$$

$$\bar{V}_9 = \bar{V}_{10} = \bar{V}_{11} = \bar{V}_{12} = 394,57 \text{ cm}^3$$

$$\bar{V}_T = 3622,78 \text{ cm}^3$$

$$\bar{V}_c = 2570,96 \text{ cm}^3$$

$$\bar{V}_p = 1062,82 \text{ cm}^3$$

Para o 3º trimestre, temos os seguintes dados:

$$\bar{R}\bar{F} = 11,40 \text{ cm}$$

$$\bar{R}\bar{U} = 12 \text{ cm}$$

$$\bar{H}\bar{U} = 20,50 \text{ cm}$$

$$\bar{H}\bar{F} = 15,51 \text{ cm}$$

$$\bar{H}\bar{F}2 = 7,75 \text{ cm}$$

$$\Theta = 40^\circ$$

Substituindo os valores nas fórmulas anteriores temos que:

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_2 = \bar{V}_3 = \bar{V}_4 = 65,96 \text{ cm}^3$$

$$\bar{V}_5 = \bar{V}_6 = \bar{V}_7 = \bar{V}_8 = 461,69 \text{ cm}^3$$

$$\bar{V}_9 = \bar{V}_{10} = \bar{V}_{11} = \bar{V}_{12} = 775,74 \text{ cm}^3$$

$$\bar{V}_T = 6710,44 \text{ cm}^3$$

$$\bar{V}_c = 5213,48 \text{ cm}^3$$

$$\bar{V}_p = 1496,96 \text{ cm}^3$$

## APÊNDICE C

## PROGRAMA DE COMPUTAÇÃO "SUBROTINA-FONTE"

```

SUBROUTINE SOURCE
COMMON/CAMME/X,Y,Z,ALP,BET,CAM,FREN,WGT,SIGPAT,SCFHCP,PPPRUB,
1  PEFCO,IMECE,NFC,COM,NAME
COMMON/PARAM/NCAMA,EZERC,DL*2(6),APED
COMMON/SCRS/LCT,CHSE,CSQ
COMMON/FINC/SA,SB,SC,A,B,C,VCL(3),CENTER
COMMON/LATA/RL,FL,RF,FF,FF2,TFETA
DIMENSION VSS(10)

C
  IF(KFY.EQ.123) GC TC 1
  READ(8,10)(VSS(I),I=1,10)
10  FORMAT(6E12.6)
  WRITE(5,11)(VSS(I),I=1,10)
11  FORMAT('C', 'CADOS SOURCE',5X,7(E12.6,3X),//,10X,3(E12.6,3X))
  KEY=123
  TANM=TAN(TFETA-ATAN(RL/FL))
  TSC=TAN*ATAN
  WFEN=7.05+TAN*6.66
  WHAT=SQRT(VSS(1)+TSC*VSS(2))
 1  ARCNE=FLTRNF(R)
  ARTWU=FLTRNF(R)*VSS(3)
  IF (ARTWU/ARCNE.LE.VSS(3)) GC TC 5
  ARCNE=1.-ARCNE
 5  VAWL=ARCNE*VSS(3)
  VCLLPE=VSS(10)
  RFO=(VAWL/VCLLPE)**(1./3.)
  SA=RFO*VSS(4)
  SB=RFO*VSS(5)
  SC=RFO*VSS(6)
  VAWL=VAWL+VSS(7)
  HFO=(VAWL/VCLLPE)**(1./3.)
  A=RFO*VSS(4)
  E=RFO*VSS(5)
  C=RFO*VSS(6)
  CENTER=WFEN-RFO*WHAT
  VCL(1)=SA*SB*SC*VSS(8)
  VCL(3)=A*E*C*VSS(8)
  VCL(2)=VCL(3)-VCL(1)

C
10  X=FLTRNF(R)*SA*2.-SA
  Y=FLTRNF(R)*SE*2.-SB
  Z=FLTRNF(R)*SC*2.-SC
  IF(X*X/(SA*SA)+Y*Y/(SB*SB)+Z*Z/(SC*SC).GT.1.) GC TC 10
  Y=Y-VSS(5)
  Z=Z+CENTER
  CALL GTISC(ALP,BET,CAM)
  ENER=EZERC
  WGT=1.
  IMECE=2
  LCT=1
  NHG=1
  RETURN
END

```

## ABSTRACT

New uterus positions are proposed and worked out in detail to evaluate the exposure of the human fetus to radiation originated in the gastrointestinal-tract during the pregnancy period. In our evaluation each organ taking part in the gastrointestinal-tract namely stomach, small intestine, transverse colon, ascending colon, descending colon, sigmoid and rectum was individually considered. Changes in the position of each of these organs were studied as a function of the uterus growth. There were evaluated cases in which the uterus was in three, six and nine month pregnancy for photon energies of 0.02, 0.05, 0.10, 0.50 and 4 MeV. The average equivalent doses ( $\bar{H}$ ) of the uterus, in the uterine wall and in each one of the twelve compartments which we considered as sub-divisions of the uterus were also determined and discussed. (infant)

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS\*

1. ATTIX, F. H. & ROESCH, W. C., editores. *Radiation dosimetry, v.1: fundamentals*. 2.ed. New York, N. Y., Academic, 1968.
2. BARAMENKOV, G. et alii. *Problems in mathematical analysis*. Moscow, Mir, sem data.
3. BRIQUET, R. *Obstetrícia normal*. 2.ed. São Paulo, Ed. São Paulo, 1977.
4. CEMBER, H. *Introduction to health physics*. Oxford, Pergamon, 1969. (International series of monographs in nuclear energy, 105).
5. CLOUTIER, R. J.; SMITH, S. A.; WATSON, E. E.; SNYDER, W. S.; WARNER, G. G. Dose to the fetus from radionuclides in the bladder. *Health Phys.*, 25:147-61, Aug. 1973.
6. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Normas básicas de proteção radiológica*. Rio de Janeiro, 1973. (Resolução CNEN-6/73).
7. ELLETT, W. H. Specific absorbed fractions for photon point sources within a scattering medium. *Physics Med. Biol.*, 14(4):615-26, 1969.
8. ELLETT, W. H.; BROWNELL, G. L.; REDDY, A. R. An assessment of Monte Carlo calculations to determine gamma-ray dose from internal emitters. *Physics Med. Biol.*, 13(2):219-30, 1968.
9. ELLETT, W. H.; CALLAHAN, A. B.; BROWNELL, G. L. Gamma ray dosimetry of internal emitters II. Monte Carlo calculations of absorbed dose from uniform sources. *Br. J. Radiol.*, 38(451):541-4, Jul. 1965.
10. FROHSE, F. et alii. *Atlas of human anatomy*. 6.ed. New York, Barnes and Noble, 1961.
11. GARDNER; GRAY; O'RAHILLY. *Anatomia*. 3.ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1971.
12. HEIDEGGER, G. W. *Atlas de anatomia humana*. 2.ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1971.
13. HINE, G. J. & BROWNELL, G. L. *Radiation dosimetry*. New York, N. Y., Academic, 1958.
14. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Basic safety standards for radiation protection*. Vienna, 1967. (Safety series, 9).
15. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS. *Radiation quantities and units*. Washington, D. C., Oct. 1975. (ICRU report, 19).

(\*) As referências bibliográficas relativas a documentos localizados pelo IEA foram revistas e enquadradas na NR-66 da ABNT.

16. LIPSCHULTZ, S. *Linear algebra*. New York, N. Y., McGraw-Hill, 1968 (Schaum's outline series).
17. LOEVINGER, R. & BERMAN, M. A schema for absorbed-dose calculations for biologically distributed radionuclides. *J. nucl. Med.*, 9(Suppl. 1):7-14, Feb. 1968.
18. MORGAN, K. Z. & TURNER, J. E., editores *Principles of radiation protection: a textbook of health physics*. New York, N. Y., Wiley, 1967.
19. NETTER, F. H. *Reproductive system: a compilation of paintings on the normal and pathological anatomy*. New Jersey, N. J., Ciba, 1954. (CIBA collection of medical illustrations, 2).
20. OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY. Oak Ridge Tenn. (Programa de computação utilizado).
21. PERNKOPF, E. *Atlas of topographical of applied human anatomy, v.2*. Philadelphia, Pa., Saunders, 1964. p.312.
22. RADIATIONS ionisantes. *Nuclélec*, (1544):7923, mai. 1975.
23. RECOMENDATIONS of the International Commission on Radiological Protection. *Annals ICRP*, 1(3), Jan. 1977. (ICRP publication, 26).
24. SNYDER, W. S.; COOK, M. J.; NASSET, E. S.; KARHAUSEN, L. R.; PARRY HOWELL, G.; TIPTON, I. H. *Report of the task group on reference man*. Oxford, Pergamon, 1975. (ICRP publication. Radiation protection, 23).
25. SNYDER, W. S.; FISCHER JR., H. L.; FORD, M. R.; WARNER, G. G. Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. *J. nucl. Med.*, 10(Suppl. 3):5-12, Aug. 1969.
26. SNYDER, W. S.; FORD, M. R.; WARNER, G. G.; WATSON, S. B. *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).
27. SORDI, G. N. Comunicação pessoal.
28. SPIEGEL, M. R. *Advanced calculus*. New York, N. Y., McGraw-Hill, 1963. (Schaum's outline series).
29. SPIEGEL, M. R. *Mathematical handbook of formulas and tables*. New York, N. Y., McGraw-Hill, 1968. (Schaum's outline series).
30. STUDIES in penetration of charged particules in water. Washington, D. C., National Academy of Sciences, 1964. p.266. (NAS NRC-Pub-1133).



**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA**  
**Caixa Postal, 11049 – Pinheiros**  
**CEP 05508**  
**01000 – São Paulo – SP**

**Telefone: 211-6011**  
**Endereço Telegráfico – IEATOMICA**  
**Telex – 011-23592 IENA BR**