AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Avaliação de dados nucleares para dosimetria de nêutrons

Tiago Cardoso Tardelli

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área de Tecnologia
Nuclear - Reatores**

**Orientador:
Prof. Dr. Hélio Yoriyaz**

**São Paulo
2013**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

Avaliação de dados nucleares para dosimetria de nêutrons

Tiago Cardoso Tardelli

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Mestre em Ciências na Área de Tecnologia
Nuclear - Reatores**

**Orientador:
Prof. Dr. Hélio Yoriyaz**

Versão Corrigida
Versão Original disponível no IPEN

São Paulo
2013

Tiago Cardoso Tardelli

Avaliação de dados nucleares para dosimetria de nêutrons

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção
do grau de mestre em Ciências na Área de Tecnologia de
Aplicações Nucleares

Área de Concentração: Tecnologia Nuclear - Reatores
Orientador: Dr. Hélio Yoriyaz

São Paulo

2013

A minha esposa Hlen

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao Prof. Dr. Hélio pela oportunidade, pela orientação neste trabalho. O projeto levou um tempo maior do que se esperava devido ao extenso trabalho, e sem sua ajuda não seria possível a realização do projeto.

A minha esposa Hélen, que foi fundamental no projeto, por todo o apoio, amor, carinho, e consolo nas horas difíceis que enfrentei e enfrentamos. Todo tempo ela estava ao meu lado incentivando a nunca desistir. A você todo meu agradecimento, respeito, e amor. A Maggie e a Laika que mesmo não entendendo o que eu falava escutavam atentamente enquanto ensaia para as apresentações.

À minha mãe, Daise, ao meu pai, Geraldo, ao meu irmão, Caio que sempre me apoiaram não importava o que acontecia. Também quero agradecer a minha irmã, Beatriz, e ao meu irmão Mateus e as minhas avós, Elza e Dalka, por todos os conselhos que me deram, e pelos ensinamentos que me tornaram quem sou hoje. E a todos os outros da minha família que me apoiaram.

As pessoas do Laboratório, Tássio, Talita, Vinícius, Rodrigos, e todos os outros que me aguentaram com todas as minhas excentricidades, mas principalmente por me ajudarem neste projeto.

*“Triste época! É mais fácil quebrar um átomo do que
o preconceito” (Albert Einstein)*

RESUMO

Doses absorvidas e doses efetivas podem ser calculadas utilizando códigos computacionais de transporte de radiação. A qualidade desses cálculos depende dos dados nucleares, no entanto, são raras as informações sobre as diferenças nas doses causadas por diferentes bibliotecas. O objetivo desse estudo é comparar os valores de dose (absorvida e efetiva) obtidos utilizando diferentes bibliotecas de dados nucleares devido a uma fonte externa de nêutrons na faixa de 10^{-11} a 20 MeV. As bibliotecas de dados nucleares são: JENDL 4.0, JEFF 3.1.1 e ENDF/B-VII.0. Cálculos de doses foram realizados utilizando o código MCNPX considerando o modelo antropomórfico da ICRP-110. As diferenças nos valores das doses absorvidas utilizando as bibliotecas JEFF 3.1.1 e a ENDF/B.VII são pequenas, em torno de 1%, porém os resultados obtidos com a JENDL 4.0 apresentam diferenças de até 85 % compara aos resultados da ENDF/B-VII.0 e JEFF 3.1.1. Diferenças nas doses efetivas são em torno de 1,5% entre ENDF/B-VII.0 e JEFF 3.1.1, e 11 % entre ENDF/B-VII.0 e JENDL 4.0.

Palavras-chaves: Dados nucleares, Método de Monte Carlo; Dose absorvida; transporte de nêutron

ABSTRACT

Absorbed dose and Effective dose are usually calculated using radiation transport computer codes. The quality of the calculations of absorbed dose depends on nuclear data utilized, however, there are rare information about the differences in dose caused by the use of different libraries. The objective of this study is to compare dose values obtained using different nuclear data libraries due to external source of neutrons in the energy range from 10^{-11} to 20 MeV. The nuclear data libraries used are: JENDL 4.0, JEFF 3.3.1 and ENDF/B.VII. Dose calculations were carried out with the MCNPX code considering the anthropomorphic ICRP 110 model. The differences in the absorbed dose values using JEFF 3.3.1 and ENDF/B.VII libraries are small, around 1%, but the results obtained with JENDL 4.0 presented differences up to 85% compared to ENDF and JEFF results. Differences in effective dose values are around 1.5% between ENDF and JEFF and 11% between ENDF/B.VII and JENDL 4.0.

Keywords: Nuclear data, Monte Carlo method; absorbed dose; neutron transport

Lista de Figuras

Figura 1 – Arquivo de entrada NJOY	29
Figura 2. Modelo antropomórfico matemático de Snyder	32
Figura 3. Comparação dos modelos de voxel e matemático do sistema gastro-intestinal.	33
Figura 4 - Arquivo XSDIR	37
Figura 5 – Saída do NJOY	41
Figura 6.a – Comparação entre as Seções de choque totais para o Carbono	42
Figura 6.b – Comparação entre as Seções de choque totais para o Cálcio	43
Figura 6.c – Comparação entre as Seções de choque totais para o Hidrogênio	44
Figura 6.d – Comparação entre as Seções de choque totais para o Nitrogênio	45
Figura 6.e – Comparação entre as Seções de choque totais para o Oxigênio	45
Figura 6.f – Comparação entre as Seções de choque totais para o Fósforo	46
Figura 7.a – Comparação entre as Seções de choque Elásticas para o Carbono	47
Figura 7.b – Comparação entre as Seções de choque Elásticas para o Cálcio	48
Figura 7.c – Comparação entre as Seções de choque Elásticas para o Hidrogênio	48
Figura 7.d – Comparação entre as Seções de choque Elásticas para o Nitrogênio	49
Figura 7.e – Comparação entre as Seções de choque Elásticas para o Oxigênio	50
Figura 7.f – Comparação entre as Seções de choque Elásticas para o Fósforo	50
Figura 8.a – Comparação entre as Seções de Choque inelásticas para o Carbono	51
Figura 8.b – Comparação entre as Seções de Choque inelásticas para o Cálcio	52
Figura 8.c – Comparação entre as Seções de Choque inelásticas para o Nitrogênio	53
Figura 8.d – Comparação entre as Seções de Choque inelásticas para o Oxigênio	53
Figura 8.e – Comparação entre as Seções de Choque inelásticas para o Fósforo	54
Figura 9 – Arquivo de entrada do SCMS	59
Figura 10 - Representação das fontes AP e PA	60
Figura 11.a – Comparação entre as Doses absorvidas para a bexiga – REGINA – AP	62
Figura 11.b – Comparação entre as Doses absorvidas para a Bexiga – REGINA – PA	63
Figura 11.c – Comparação entre as Doses absorvidas para a medula óssea vermelha – REGINA – AP	64
Figura 11.d – Comparação entre as Doses absorvidas para a medula óssea vermelha – REGINA – PA	65

Figura 11.e – Comparação entre as Doses absorvidas para a Superfície do Osso Cortical – REGINA – AP	66
Figura 11.f – Comparação entre as Doses absorvidas para a Superfície do Osso Cortical – REGINA – PA	66
Figura 11.g – Comparação entre as Doses absorvidas para as mamas – REGINA – AP	67
Figura 11.h – Comparação entre as Doses absorvidas para as mamas – REGINA – PA	68
Figura 11.i – Comparação entre as Doses absorvidas para o Cólon – REGINA – AP	69
Figura 11.j – Comparação entre as Doses absorvidas para o Cólon – REGINA – PA	70
Figura 11.k – Comparação entre as Doses absorvidas para as Gônadas – REGINA – AP	71
Figura 11.l – Comparação entre as Doses absorvidas para as Gônadas – REGINA – PA	72
Figura 11.m – Comparação entre as Doses absorvidas para o Fígado – REGINA – AP	72
Figura 11.n – Comparação entre as Doses absorvidas para o Fígado – REGINA – PA	73
Figura 11.o – Comparação entre as Doses absorvidas para o Pulmão – REGINA – AP	74
Figura 11.p – Comparação entre as Doses absorvidas para o Pulmão – REGINA – PA	75
Figura 11.q – Comparação entre as Doses absorvidas para o Esôfago – REGINA – AP	75
Figura 11.r – Comparação entre as Doses absorvidas para o Esôfago – REGINA – PA	76
Figura 11.s – Comparação entre as Doses absorvidas para o Restante – REGINA – AP	77
Figura 11.t – Comparação entre as Doses absorvidas para o Restante – REGINA – PA	78
Figura 11.u – Comparação entre as Doses absorvidas para a Pele – REGINA – AP	78
Figura 11.v – Comparação entre as Doses absorvidas para a Pele – REGINA – PA	79
Figura 11.w – Comparação entre as Doses absorvidas para o Estômago – REGINA – AP	80
Figura 11.x – Comparação entre as Doses absorvidas para o Estômago – REGINA – PA	80
Figura 11.y – Comparação entre as Doses absorvidas para a Tireóide – REGINA – AP	81
Figura 11.z – Comparação entre as Doses absorvidas para a Tireoide – REGINA – PA	82
Figura 12.a – Comparação entre as Doses absorvidas para a Bexiga – REX – AP	83
Figura 12.b – Comparação entre as Doses absorvidas para a Bexiga – REX – PA	84
Figura 12.c – Comparação entre as Doses absorvidas para o Cólon – REX – AP	84
Figura 12.d – Comparação entre as Doses absorvidas para o Cólon – REX – PA	85
Figura 12.e – Comparação entre as Doses absorvidas para o Esôfago – REX – AP	86
Figura 12.f – Comparação entre as Doses absorvidas para o Esôfago – REX – PA	87

Lista de tabelas

Tabela 1 – Classificação dos nêutrons de acordo com sua energia	19
Tabela 2 – Fatores de Ponderação para os Tecidos Apresentados na Publicação 60 da ICRP	25
Tabela 3 – Tipos de <i>tallies</i>	31
Tabela 4 – Fluxo De Nêutrons, Dose e Taxa de Reação da Seção de Choque Inelástica	39
Tabela 5 – Comparação de cada elemento para os níveis inelásticos	55

Sumário

I. INTRODUÇÃO	13
II. OBJETIVO	14
III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	15
III.1. Introdução	15
III.2. Produção de Nêutrons	16
III.3. Interação de Nêutrons	17
III.4. Seções de choque	19
III.5. Aplicação de nêutrons na biologia e medicina	20
III.6. Conceitos e princípios de nêutrons na biologia e medicina	21
III.6.1. Fluência e taxa de fluência	21
III.6.2 Kerma	22
III.6.3 Dose Absorvida	23
III.6.4 Dose Equivalente	24
III.6.5 Dose Efetiva	25
IV. MATERIAIS E MÉTODOS	26
IV.1 - Bibliotecas de Dados Nucleares	26
IV.2 - Sistema NJOY	27
IV.3 - Código de Monte Carlo MCNP5	30
IV.4 - Modelo antropomórfico	31
IV.4.1 - Modelo antropomórfico – ICRP-110	34
IV.5 - Simulações para cálculos de dose absorvida	34
V. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
V.1 – Extração das informações das bibliotecas de dados nucleares	36
V.1.1 – Geração das bibliotecas de dados nucleares	37
V.1.2 – Validação das bibliotecas geradas	38
V.2 – Comparação das Seções de choque	41
V.2.1 – Extração das informações	41
V.2.2 – Seção de Choque Total	42

V.2.3 – Seção de Choque Elástica	47
V.2.4 – Seção de Choque Inelástica	51
V.2.4.1 – Seção de Choque Inelástica – Níveis Inelásticos	55
V.3 – Construção dos modelos antropomórficos	58
V.3.1– Cálculos de Dose absorvida	61
V.3.1.1– Cálculos de Dose absorvida – REGINA	61
V.3.1.2– Cálculos de Dose absorvida – REX	82
V.3.1.3– Cálculos de Dose absorvida – ICRP-74	104
V.3.2– Cálculos de Dose Efetiva	107
VI. CONCLUSÃO	112
VII. REFERÊNCIAS	114
VIII APÊNDICE	118

I. INTRODUÇÃO

Geralmente as doses são obtidas por métodos numéricos através de códigos computacionais, que simulam o transporte de nêutrons, em um modelo anatômico do objeto em estudo. Um destes métodos numéricos é o Método de Monte Carlo, que simula a interação da radiação com a matéria, sendo que, nesse processo é necessário fornecer dados nucleares, tais como, as seções de choque de cada interação da radiação com o meio material [Alghamdi, 2005; Bozkurt, 2001].

Uma vez que, a qualidade dos cálculos de dose absorvida depende dos dados nucleares utilizados, alguns trabalhos na literatura têm abordado o problema de se obter um conjunto consistente de seções de choque para uso em sistemas biológicos para terapia, radiobiologia e proteção radiológica. Os elementos químicos que são biologicamente importantes e que compõem o corpo humano são: H, C, N, O, P e Ca. [Chadwick et. al., 1999; Meulders et. al., 2000].

Para que se possa utilizar esses elementos em simulações computacionais é feita a construção de seus dados nucleares, tais como seções de choque (total, elástica, inelástica, entre outras), em arquivos computacionais que transcrevam suas reações físicas com a matéria. Cada elemento possui características próprias de interação com a matéria, cujas propriedades são descritas em bancos de dados nucleares e é importante que esses dados nucleares sejam bem estudados e organizados.

Dados nucleares avaliados são armazenados e organizados em bibliotecas. Existem atualmente diversas bibliotecas de dados nucleares disponíveis cobrindo uma faixa de energia desde frações de eV's (10^{-5}) até algumas centenas de MeV's para nêutrons, dependendo do nuclídeo. Entretanto, são raras as informações sobre as diferenças nos resultados de dose causadas por estas diferentes bibliotecas.

As bibliotecas tais como, ENDF (Evaluated Nuclear Data File), não podem ser diretamente acessadas pelos códigos de transporte de radiação, mas precisam ser processadas por um sistema computacional e então caracterizadas, normalmente por dados pontuais ou em multigrupo (que descrevem o transporte de nêutrons de um grupo de elementos para outro), dependendo da aplicação e do código de transporte de radiação. Um

dos sistemas utilizados para tal tarefa é o sistema NJOY [MacLane, 2001], desenvolvido no Laboratório de Los Alamos nos EUA.

Cálculos de dose absorvida para obtenção de grandezas de proteção radiológica geralmente são realizados com o uso de um modelo antropomórfico do corpo humano. Basicamente, existem dois tipos de modelos atualmente: modelos matemáticos e os modelos de voxels [Yoriyaz, 2001]. Estes modelos são adaptados ou integrados nos diversos códigos de transporte de radiação, tais como, MCNP5 [Hendrix, 2004], EGS4[Nelson, 1985], PENELOPE [Salvat, 2001], GEANT4[Agostinelli, 2003] e outros. Mais recentemente, a ICRP publicou novos modelos antropomórficos baseados em voxels para determinação das quantidades dosimétricas de interesse [ICRP, 2009].

Com uma metodologia estabelecida que envolva o acoplamento entre um sistema computacional e um modelo antropomórfico do corpo humano é possível então estimar as doses absorvidas tanto para avaliação de modalidades de terapia com nêutrons, bem como, estimativas de grandezas de proteção radiológica, tais como, dose equivalente e dose efetiva.

A contribuição deste trabalho torna-se relevante à medida que os resultados obtidos fornecem subsídios e informações importantes para diversas modalidades de pesquisa e projetos que envolvam fontes de nêutrons e que necessitam de estimativas de dose mais acurada, seja para projetos de blindagem de radiação visando proteção radiológica, bem como, diagnose ou terapia com nêutrons. Salienta-se também que o presente projeto exercerá um papel importante no preenchimento de uma lacuna na área de pesquisa relacionado à avaliação de bibliotecas de dados nucleares utilizados no Centro de Engenharia Nuclear do IPEN.

II. OBJETIVO

Estudar o impacto na dose causado pelas diversas bibliotecas de dados nucleares para nêutrons disponíveis em literatura. Esta avaliação consiste em quantificar as diferenças nos valores de dose absorvida e dose efetiva causada pelas diferentes bibliotecas de dados nucleares utilizadas. O cálculo de dose absorvida será realizado em modelos

geométricos simples como esferas e posteriormente a dose absorvida e efetiva em modelo antropomórfico do corpo humano, através da simulação do transporte de nêutrons com o código de Monte Carlo MCNP5.

Os resultados obtidos a partir de diferentes bibliotecas de seções de choque para nêutrons serão intercomparados de forma relativa e com dados de literatura. Serão considerados os elementos biologicamente importantes presentes no corpo humano e em equipamentos clínicos e materiais de blindagem da radiação. As bibliotecas de dados nucleares utilizados no presente trabalho são disponíveis no site www-nds.iaea.org, que são: JENDL 4.0 (Japanese Evaluated Nuclear Data Library) [Shibata, 2011], JEFF 3.1.1 (Joint Evaluated Fission and Fusion) [Santamarina, 2009] e ENDF B-VII.0 [Chadwick, 2006].

III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

III.1. Introdução

Em 1932, James Chadwick, provou a existência do nêutron. Por ser uma partícula pesada e por não ser eletricamente carregada, o nêutron possui propriedades que diferem das propriedades encontradas em partículas carregadas como o próton, por exemplo.

O nêutron interage com outro elemento apenas nuclearmente, o que torna necessário o profundo conhecimento sobre informações nucleares dos elementos e os tipos de interações nucleares que ocorrem entre eles. Essas interações são caracterizadas pelas seções de choque, que representa a probabilidade de um nêutron com determinada energia interagir com um determinado material.

Ao longo da história, o nêutron foi utilizado para diversas pesquisas, que envolveram a descoberta de novos radioisótopos. As descobertas destes novos núclídeos foram fundamentais para diversas áreas da ciência como química, biologia, medicina, sendo utilizados principalmente na física médica mais especificamente na medicina nuclear devido a características próprias de alguns radioisótopos terem afinidade com determinados tumores, mesmo que muito pequenos, tornando o tratamento mais eficiente.

III.2.Produção de Nêutrons

Para que haja produção de nêutrons, é necessária uma reação nuclear. Há diversos tipos de interação que produzem nêutrons, uma interação muito comum é a fissão nuclear, já a utilizada por James Chadwick para provar a existência do nêutron foi uma reação (α, n). Alguns exemplos dessa reação são:

Além dessa forma, quando um nêutron passa perto de um núcleo pesado, por exemplo, o U-235, o nêutron pode ser capturado pelo núcleo. Essa captura adiciona um nêutron ao núcleo transformando o U em U-236. Isso ocasiona um estado energético instável, que para se tornar estável novamente se rompe em dois novos núclídeos. Esse rompimento libera energia além de nêutrons. Caso esses nêutrons por sua vez atinjam outros átomos de Urânios (U-235), começará uma reação em cadeia.

Essa reação em cadeia é a base para a bomba nuclear e reatores nucleares. Quando ocorre a fissão nuclear do U-235, nem sempre os produtos são os mesmos. Alguns exemplos desses produtos são:

As fontes neutrônicas são misturas entre elementos que ao reagirem liberam nêutrons, como a mistura citada no parágrafo anterior. Essas fontes normalmente são encapsuladas de tal forma que o emissor de nêutrons fica externo ao outro elemento. Outro

exemplo de fonte neutrônica, que inclusive é bastante utilizada em pesquisas, é a fonte de Am-Be (Amerício – Berílio), que também é baseada na reação (α, n).

Outra forma de produção de nêutrons é através de aceleradores de partículas, onde um alvo é bombardeado por partículas carregadas (elétrons, prótons, entre outras partículas) e aceleradas. A colisão dessas partículas com o alvo ocasiona uma reação nuclear, que por sua vez ocasiona a emissão de nêutrons. Um tipo de reação é (γ, n), que cada vez mais é utilizado em pesquisas.

III.3. Interação de Nêutrons

O nêutron é uma partícula que não possui carga, portanto, ela não interage através da força Coulombiana. Isto significa que ao entrar em um meio, o nêutron tem uma probabilidade pequena de interagir com elétrons, diferente do que ocorre ao fóton. Este por sua vez, ao interagir com o elétron pode, por exemplo, ter seu caminho desviado, ou também transferir na colisão sua energia.

Para que a energia cinética do nêutron seja diminuída, é necessária a colisão com um núcleo atômico. E como consequência o nêutron interage com menos frequência do que partículas carregadas, tendo assim um maior poder de penetração no meio. Esta característica é importante, pois em estudos que utilizam esta partícula, necessitam de um alto poder de blindagem.

O nêutron pode interagir com a matéria de diversas formas, isto vai depender basicamente da energia e do alvo. São conhecidas as seguintes interações: Espalhamento elástico, Espalhamento inelástico, captura neutrônica, captura radioativa, emissão de nêutrons e fissão ($n, 2n$).

O Espalhamento elástico consiste na colisão do nêutron com o núcleo do material, este ganha energia cinética provinda do nêutron, e não há dissipação de energia através de emissão de outras partículas. Esta interação é considerada a mais provável de ocorrer. No espalhamento inelástico ocorre dissipação de energia, normalmente representada pela reação (n, n'), que é caracterizada pela excitação do núcleo devido a colisão, como consequência disto, é liberado um nêutron com energia inferior a do nêutron incidente e

acompanhado da emissão de um γ ou mais. Como não há uma energia fixa de dissipação, existem 40 níveis de energia (40 estados excitados) conhecidos. Além disso, há o espectro contínuo, que se caracteriza por não se equivaler as energias descritas nos 40 níveis inelásticos, levando a 41 tipos de reações inelásticas. Para ocorrer este tipo de interação é necessário que a energia do nêutron incidente atinja uma energia limiar (energia mínima necessária para ocorrer a reação), sendo que cada elemento possui uma energia limiar própria.

A captura pode ocorrer com qualquer energia, e também é chamada de absorção. Nesta reação o nêutron incide no núcleo, que por sua vez emite uma partícula pesada carregada ao invés de um nêutron. Portanto, neste tipo de reação, o nêutron é “capturado” pelo núcleo e como resultado emite uma partícula carregada.

Já a captura radioativa tem como produto final a emissão de um raio-gama ao invés de uma partícula carregada pesada como na captura, mas ainda assim o nêutron é incorporado ao núcleo. Na emissão, um nêutron ao colidir com o núcleo produz uma reação nuclear no qual é liberada mais do que uma partícula de nêutron como produto.

Por último, a fissão é a reação que divide um átomo liberando dois ou mais nêutrons. Este tipo de interação é muito estudado em reatores nucleares, onde normalmente é utilizado o Urânio como material físsil. Nesta reação um nêutron incide no Urânio, que fica instável e se fissiona, e como consequência é emitido dois ou mais nêutrons, que por sua vez colidirão com outro átomo de Urânio, dando início a reação em cadeia (princípio utilizado nos reatores e em bombas nucleares).

Essas interações dependem do alvo e da energia incidente do nêutron, consequentemente para diferentes faixas energéticas, haverá diferentes tipos de interação. Na Tabela 1 abaixo é mostrado a classificação dos nêutrons com as faixas energéticas.

Tabela 1 – Classificação dos nêutrons de acordo com sua energia

Energia	Classificação
$E < 1\text{eV}$	Térmicos
$1\text{eV} < E < 1\text{KeV}$	Epitérmicos
$1\text{KeV} < E < 100\text{KeV}$	Intermediários
$0,1\text{MeV} < E < 15\text{MeV}$	Rápidos
$E > 15\text{MeV}$	Muito rápidos

Para nêutrons mais lentos (intermediários até térmicos) as interações nucleares que mais ocorrem são as de espalhamento elástico, captura radiativa e captura. O espalhamento elástico ocasiona uma perda de energia do nêutron (conservando a energia cinética total do sistema), causando um equilíbrio térmico com o material, isto pode causar uma segunda interação nuclear, como por exemplo, a captura, e esta interação emite uma partícula carregada, na qual pode ser detectada diretamente.

Os nêutrons mais rápidos possuem basicamente interação elástica e inelástica, e isto faz com que haja uma maior dificuldade em barra-los. Um método de blindagem desses nêutrons é provocar interações com algum material a fim de diminuir sua energia cinética até que este nêutron rápido se torne térmico, e conseqüentemente ser absorvido por esse material blindando o nêutron.

III.4. Seções de choque

Ao interagir com a matéria, nêutrons e outras partículas reagem de diferentes formas. A análise dessas interações é muito complicada, uma vez que essas interações dependem de vários fatores. Uma partícula com uma determinada energia pode interagir com o meio de diversas formas, o que demonstra um caráter probabilístico para a interação dessas partículas. Para quantificar a probabilidade das interações das partículas na matéria é necessário definir a grandeza chamada Seção de Choque (σ).

“Se $n(x)$ é a intensidade de um feixe de Nêutrons após cruzar uma espessura x de um dado material e N é o número de átomos por centímetros cúbicos do alvo”, então:

$$\frac{dn}{dx} = -N\sigma \quad (1)$$

onde é possível perceber que σ tem dimensões de área, sendo medido em unidades de barns ($1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ cm}^2$)

Logo, a seção de choque é a probabilidade de uma partícula interagir com um determinado material em uma determinada energia. A seção de choque microscópica (σ) é a probabilidade de ocorrer uma determinada interação em uma determinada energia. Já a seção de choque macroscópica (Σ) é o resultado da multiplicação da seção de choque microscópica pela densidade atômica N em unidade átomos por cm^3 .

$$\Sigma = \sigma N \quad (2)$$

Sendo assim, a seção de choque macroscópica total (as vezes o símbolo Σ é substituído por μ) é o resultado da soma das seções de choque macroscópicas de cada interação das partículas com a matéria. No caso deste trabalho, os tipos de interações foram citadas anteriormente e são o espalhamento elástico e inelástico, captura, captura radiativa, emissão de nêutrons, e fissão. A fórmula abaixo representa esta soma e deste modo fornece a probabilidade, por unidade de comprimento atravessado, de que qualquer um destes fenômenos venha a ocorrer:

$$\Sigma_t = \Sigma_{ee} + \Sigma_{ei} + \Sigma_c + \Sigma_{cr} + \Sigma_{en} + \Sigma_f \quad (3)$$

III.5. Aplicação de nêutrons na biologia e medicina

O objetivo de se determinar a dose absorvida no corpo humano causada pelo nêutron é muito importante para todos que trabalham em contato com nêutron, e para pesquisas que pretendem utilizar o nêutron como forma de tratamento terapêutico, ou diagnóstico. É imprescindível que a dose absorvida pelas pessoas que entram em contato com esta partícula seja mínima para não causar quaisquer danos.

Sabendo que nêutrons dissipam suas energias nos tecidos através de diversas interações nucleares com vários tipos de material, a deposição de energia é caracterizada por um complexo espectro de partículas secundárias geradas por estas interações.

Devido à complexidade do espectro das partículas secundárias, nêutrons são menos adequados que as partículas carregadas para pesquisas do mecanismo pelo qual efeitos da radiação ionizante nas células são iniciados. Entretanto, nêutrons rápidos são de grande interesse para a radiobiologia, pois eles oferecem a possibilidade de expor objetos relativamente grandes a uma alta exposição com uma baixa distribuição de dose absorvida pelo objeto.

III.6. Conceitos e princípios de nêutrons na biologia e medicina

III.6.1. Fluência e taxa de fluência

A fluência de um campo de radiação é definida em termos do número de partículas entrando em um volume. Então, a fluência, Φ , das partículas é o quociente de dN por da , onde dN é o número de partículas que entram em uma esfera de área da .

$$\Phi = \frac{dN}{da} \quad (4)$$

A mais elementar caracterização de um campo de radiação envolve termos de tipo, energia, direção e número de partículas. A fluência pode ser simplificada então como número de partículas, dN , entrando em uma área da .

Esta definição de fluência leva em conta a população de partículas num determinado sistema em um determinado período de tempo. Então, se definirmos um período de tempo em específico, dt , teremos a taxa de fluência.

A definição de taxa de fluência, ϕ , das partículas é o quociente de $d\phi$ por dt , onde $d\phi$ é o incremento da fluência de partículas em um intervalo de tempo dt .

$$\varphi = \frac{d\Phi}{dt} \quad (5)$$

Para um campo unidirecional, a fluência, Φ , representa o número de partículas atravessando unidade de área de superfície normal ao campo de radiação. Em um campo de radiação isotrópico o número de partículas atravessando a superfície de uma unidade de área é igual a $\Phi/2$. Isto se deve ao fato de que a superfície da esfera é 4 vezes superior a área transversal e que a superfície é atravessada 2 vezes por cada partícula.

Em algumas situações é possível ao invés de calcular o número de partículas passando por uma região, calcular a energia total transportada através dessa região. Podemos definir que a quantidade de fluência de energia é definida em termos da energia cinética total das partículas entrando em um volume esférico em certo tempo.

A fluência de energia, Ψ , das partículas é o quociente dE_n por da , onde dE_n é a soma das energias de todas as partículas que entram na área transversal da esfera **da**, definido pela fórmula:

$$\Psi = \frac{dE_n}{da} \quad (6)$$

Então, a taxa de fluência de energia, ψ , é o quociente de $d\Psi$ por dt , onde $d\Psi$ é o incremento da fluência de energia em um intervalo de tempo dt .

$$\psi = \frac{d\Psi}{dt} \quad (7)$$

III.6.2 Kerma

O Kerma, K , é o quociente de dE_{tr} por dm , onde dE_{tr} é a soma das energias cinéticas iniciais de todas as partículas carregadas liberadas por partículas indiretamente ionizantes em um volume de um específico material, e dm é a massa da matéria nesse volume. Um detalhe importante a ser comentado é de que a energia não é depositada totalmente.

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad (8)$$

O Kerma possui a vantagem de ser independente das complexidades do transporte de energias realizado por partículas secundárias carregadas. A taxa de kerma, k é o quociente de dK por dt , onde dK é o incremento de kerma em um intervalo de tempo dt .

$$k = \frac{dK}{dt} \quad (9)$$

III.6.3 Dose Absorvida

A dose absorvida, D , é o quociente de $d\varepsilon$ por dm , onde $d\varepsilon$ é a energia média transferida pela radiação ionizante para a matéria em um volume, e dm é a massa da matéria desse determinado volume.

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm} \quad (10)$$

A energia média transferida pela radiação é definida como a soma das energias que entram no material ($\Sigma\varepsilon_{in}$), menos a soma das energias que saem desse material ($\Sigma\varepsilon_{ex}$), mais a energia liberada por qualquer reação que ocorreu dentro do volume do material (ΣQ), sendo assim a seguinte equação consegue descrever este processo:

$$\varepsilon = \sum_{\varepsilon_{in}} - \sum_{\varepsilon_{ex}} + \sum Q \quad (11)$$

A dose absorvida tem a mesma dimensão que o Kerma (K), e possui mesma unidade, Gray (Gy), de acordo com o Sistema Internacional de unidades (SI), onde $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$.

É importante destacar que quantidades estocásticas como energia transferida sempre são relacionadas a regiões finitas, enquanto quantidades como fluência, kerma, ou dose absorvida são definidas em pontos.

A energia transferida do nêutron para o núcleo atômico ocorre através de dois processos. O primeiro passo é a colisão do nêutron com o núcleo, no qual ele transfere energia para o mesmo e assim o deixa excitado. Esta excitação por sua vez faz com que o núcleo libere partículas secundárias carregadas, por exemplo o γ , que irão interagir com o meio depositando energia através de colisões eletrônicas.

Não necessariamente o nêutron irá ser absorvido na interação com o núcleo do material, é possível que ele continue o percurso no meio, porém com uma energia menor. Essa interação é chamada de interação inelástica (n, n') no qual o produto da interação é um nêutron com uma energia menor, e um γ .

III.6.4 Dose Equivalente

A dose equivalente, $H_{T,R}$, é o produto de w_R e D em um ponto do tecido, onde D é a dose absorvida e w_R é o fator de qualidade deste ponto.

$$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R} \quad (12)$$

onde:

$H_{T,R}$ é a dose equivalente;

$D_{T,R}$ a dose absorvida e;

w_R é o fator de ponderação da radiação dada pela equação 13:

$$w_R = 5 + 17 \exp \left[\frac{-[\ln(2E_n)]^2}{6} \right] \quad (13)$$

onde:

E_n é a energia do nêutron incidente em MeV [Chen et. al., 2004].

III.6.5 Dose Efetiva

A dose efetiva é descrita como a soma das doses equivalente nos tecidos e órgãos, cada um multiplicado por um fator de ponderação do tecido. Ela é descrita pela expressão abaixo:

$$E = \sum w_T \cdot H_T \quad (14)$$

Onde H_T é a dose equivalente no tecido ou órgão, T , e w_T é o fator de ponderação do tecido. Abaixo está a tabela 2 com os valores de w_T retirado da publicação 60 da ICRP [ICRP, 1991]:

Tabela 2: Fatores de Ponderação para os Tecidos Apresentados na Publicação 60 da ICRP.

Tecido ou Órgão	Fator de Ponderação para o Tecido $w_T^{(1)}$
Gônadas	0,20
Medula Óssea	0,12
Cólon	0,12
Pulmões	0,12
Estômago	0,12
Bexiga	0,05
Mamas	0,05
Fígado	0,05
Esôfago	0,05
Tireóide	0,05
Pele	0,01
Superfície Óssea	0,01
Restante	0,05 ^(2,3)

- (1) Os valores foram determinados para uma população de referência com um número igual de ambos os sexos e um intervalo de idades bastante amplo. Na definição da dose efetiva é aplicado para trabalhadores, para a população como um todo, e para ambos os sexos.
- (2) Para propósitos de cálculo, o restante do corpo é composto dos seguintes tecidos e órgãos adicionais: adrenais, cérebro, intestino delgado superior, intestino grosso, rins, músculos, pâncreas, baço, timo e útero. A lista inclui órgãos que provavelmente possam ser irradiados seletivamente. Alguns órgãos da lista são considerados suscetíveis ao aparecimento de câncer. Se algum outro órgão ou tecido for

subseqüentemente identificado como possuidor de um risco significativo para o aparecimento de câncer ele será incluído também com um específico W_T ou nesta lista adicional que considera o restante do corpo. A lista também pode incluir outros tecidos ou órgãos irradiados seletivamente.

- (3) Naqueles casos excepcionais em que um único tecido ou órgão do restante do corpo recebe uma dose equivalente acima da maior dose de qualquer um dos doze órgãos para os quais foi especificado um fator de ponderação, deverá ser aplicado um fator de ponderação de 0,025 para aquele tecido ou órgão e um fator de ponderação de 0,025 para a dose média no resto do restante do corpo definido anteriormente.

IV. MATERIAIS E MÉTODOS

IV.1 - Bibliotecas de Dados Nucleares

O sistema ENDF/B (Evaluated Nuclear Data File) foi originalmente desenvolvido para fornecer um formato unificado para armazenar e recuperar conjuntos avaliados de seções de choque e permitir fácil troca de informações entre laboratórios. Os formatos de dados básicos descrevem seções de choque para as energias de nêutron incidente na faixa de 10^{-11} a 20 MeV. Uma biblioteca em formato ENDF/B, também fornece conjuntos de seções de choque avaliadas em um formato que pode ser usado em cálculos onde os nêutrons, prótons, partículas carregadas (p, d, t, etc) ou reações leves e íons pesados são considerados.

Os conjuntos de dados nucleares são fornecidos por material que por sua vez pode ser definido como um isótopo, uma coleção de isótopos, um elemento natural contendo vários isótopos ou uma mistura de elementos. Para cada material é atribuído um número de identificação representada pelo símbolo MAT. Os dados avaliados para definir um material são divididos em arquivos. Cada arquivo possui um número de identificação representado pelo símbolo MF e contém informações de um determinado tipo de dado, tais como, parâmetros de ressonância, seções de choque, angular e / ou distribuição de energia, etc. Um arquivo é subdividido em seções, cada um contendo dados específicos, tais como, reação total, espalhamento elástico, fissão e etc. No presente trabalho, serão estudadas três bibliotecas em formato ENDF/B disponíveis no Centro de Engenharia Nuclear, que são: ENDF/B.VII.0, JENDL-4.0 e JEFF-3.1.1.

A ENDF/B.VII foi desenvolvida em diversos laboratórios nos Estados Unidos e liberada no ano de 2007. Cada elemento foi sendo modificado ao longo dos anos, até meados de 2010, onde começou a se preparar a ENDF/B.VII.1, liberada no final do ano de 2012.

A JEFF-3.1.1 foi desenvolvida por diversos laboratórios na Europa em meados da primeira década do século 21. Os elementos pertencentes a essa bibliotecas deixaram de ser modificados em meados de 2009 quando começou a ser preparado a JEFF-.3.1.2, que foi liberada para pesquisa pública em meados de 2012.

A JENDL-4.0 foi desenvolvida pelos laboratórios japoneses na primeira década do século 21. Todas as informações foram atualizadas até o ano de 2010, quando começou a ser preparada a JENDL-4.0u que foi liberada para pesquisa pública no final do ano de 2012.

IV.2 - Sistema NJOY

Códigos de transporte de radiação não podem acessar diretamente as bibliotecas de dados nucleares, mas dependem de arquivos pré-processados em formatos específicos. Esta tarefa precisa ser realizada por um sistema de processamento de dados nucleares, sendo que, um dos mais utilizados é o sistema NJOY [MacLane, 2001]. Este sistema é capaz de produzir dados pontuais em energia ou em forma de multigrupo, a partir de biblioteca no formato ENDF/B. O sistema NJOY é composto por um conjunto de módulos que são:

- MODER: é módulo que acessa a biblioteca ENDF/B e converte o arquivo ASCII original num formato binário;
- RECONR: é módulo empregado para reconstruir as seções de choque pontuais a partir dos parâmetros de ressonância e esquemas de interpolação;
- BROADR: é o módulo que trabalha com o alargamento Doppler;
- HEATR: é o módulo utilizado para gerar coeficientes KERMA pontuais;
- ACER: é módulo utilizado para formatar o arquivo final no formato específico para o código de transporte de radiação MCNP5.

Os módulos apresentados acima não representam todos os módulos que o NJOY possui, nem representa tudo o que o NJOY pode fazer, mas é a base para gerarmos uma biblioteca para o código MCNP5. Essa biblioteca deve conter todas as informações referentes a seções de choque do elemento.

O MCNP5 (Monte Carlo N-particle transport code) é um código de transporte que possibilita o estudo de diversas partículas. Esses estudos ocorrem através de simulações, que dependem de alguns fatores e componentes. Para a realização dessas simulações é necessário construir um “input” (arquivo de entrada de dados). Este arquivo de entrada deverá conter informações sobre a simulação a ser realizada, sobre a fonte utilizada, e quais bibliotecas irão ser utilizadas para base de informações de interações nucleares.

Como as bibliotecas utilizadas são os resultados do processamento do NJOY, é necessário que cada elemento tenha passado por todos os módulos necessários, para que possua todas as informações nucleares completas.

É importante relatar que nem todos os elementos necessitam passar por todos esses módulos para que haja a construção de uma biblioteca para o MCNP5, mas depende de elemento para elemento. Por exemplo, no caso do Hidrogênio o processo não precisa passar pelo RECONR, pois este módulo trabalha na parte da seção de choque que há ressonância, e como poderemos ver a frente, a seção de choque deste elemento não apresenta ressonância.

Abaixo na figura 1 podemos ver um exemplo de uma parte de um dos arquivos de entrada utilizados do NJOY para a construção de uma biblioteca, no caso o Carbono, nele estão os módulos utilizados, junto com suas definições.

```

moder
20 -23
reconr
20 -21
'pendf tape for C-12 from ENDF/B-VII to groupr and mcnp '/
625 3/
.002/
'C-12 from ENDF/B-VII to groupr and mcnp '/
'processed by the njoy nuclear data processing system'/
'see original ENDF/B-VII  tape for details of evaluation'/
0/
broadr
-23 -21 -22
625 1/
.001 1.0e+6/
293.0
0/
moder
-22 29

```

Figura 1 – Arquivo de entrada NJOY

O NJOY tem uma vantagem que é importante para este trabalho, que é a fácil extração de dados após processamento. As saídas do programa são chamadas de “*tape*”, e cada saída é demarcada com um número dado pelo pesquisador, por exemplo, no caso deste trabalho o tape50 e o tape51 representam respectivamente a biblioteca para o código MCNP5 já processada, e o caminho que o programa deve percorrer a fim de localizar e utilizar a mesma. Os números são escolhidos de acordo com o código do programa que libera uma sequência de números para alguma saída.

Como este trabalho visa analisar as seções de choque, foi extraída a seção de choque detalhada e armazenada no tape nomeado e numerado neste trabalho de tape29. Este tape contém todas as seções de choque que o elemento analisado possui, isto é devido ao MODER que formatou o arquivo de saída do BROADR que trabalha com as seções de choque.

IV.3 - Código de Monte Carlo MCNP5

Nêutrons sofrem muitas interações com a matéria no processo de deposição de energia criando diferentes tipos de partículas secundárias. Estas interações acontecem geralmente em geometrias muito complicadas como é o caso de um corpo humano. Além disso, as interações com nêutrons dependem da energia e composição de elementos de diferentes partes do corpo. Estas características fazem com que a simulação deste processo torne-se um procedimento altamente complexo.

Na última década, com o avanço da informática, o método de Monte Carlo se tornou o método mais comum usado para realizar tais simulações e muitos códigos com base neste método foram desenvolvidos para diversas finalidades e aplicações. O método consiste em seguir as partículas individuais desde a sua criação, simulando todos os tipos de interações possíveis com o meio até que sua energia torne-se insignificante ou que seja totalmente absorvida ou escape do sistema de interesse.

A determinação da dose absorvida é obtida armazenando-se a deposição de energia em cada interação em uma região de interesse ou do órgão-alvo.

Um dos códigos mais utilizados para o transporte de nêutrons pela comunidade científica é o código MCNP5 [Hendrix, 2004]. Este código foi desenvolvido para propósito geral, e é capaz de simular sistemas em geometria 3-D, usando energia contínua. O código possibilita uma grande variedade de aplicações, incluindo blindagem da radiação, projeto de reatores nucleares, instrumentação nuclear e outros. Este código também tem sido utilizado especificamente para o transporte acoplado de nêutrons e fótons para resolver problemas relacionados com a dosimetria de nêutrons no campo da física médica e mais especificamente em terapia por captura de nêutrons.

Para a realização de uma simulação é necessário o arquivo executável do código; o “input” (arquivo de entrada que construímos para especificarmos o tipo de geometria que queremos simular, e as características da simulação); e por último o arquivo de bibliotecas que contém os dados nucleares dos elementos.

O arquivo de entrada de dados do MCNP é dividido em três blocos, o primeiro consiste no título da simulação e em informações sobre as células utilizadas na simulação

(a célula é uma representação geométrica, o conjunto delas pode simular, por exemplo, um corpo humano ou mesmo um reator nuclear). O segundo bloco contém informações sobre as superfícies utilizadas no primeiro bloco, a junção das superfícies é que irá formar uma célula. No terceiro bloco há as informações sobre os materiais utilizados na simulação, da fonte radioativa, das grandezas a serem calculadas (*tallies*), entre outras informações. [Los Alamos, 2003]

Este código permite calcular o fluxo de nêutrons (seja em um volume ou superfície) e a dose depositada em certa região. Conforme as partículas percorrem um determinado caminho em sua simulação, ela perderá energia através da interação com o material que colidir. A junção dessas informações das teações se chama “*track length*”, que nada mais é o histórico que a partícula tem ao percorrer um meio [Los Alamos, 2003]. Há várias opções de cálculos associados ao MCNP5, sendo que esses cálculos são organizados em *tallies*. No caso deste trabalho foi utilizado apenas dois *tallies*, o F4 e o F6 que representam respectivamente o fluxo de partículas, e a energia depositada em um determinado volume. A nomenclatura F com um número na frente representa um mneumônico, para representar o tally. Em cada tally é necessário que especifiquemos o tipo de partícula que será calculada, então na frente de cada tally, colocamos N, que representa nêutrons, mas poderíamos colocar P, para fótons, por exemplo [Los Alamos, 2003]. A tabela 3 abaixo representa os *tallies* que utilizaremos neste trabalho com seus respectivos significados.

Tabela 3 – Tipos de *tallies*

Mnemonico	Descrição	Unidade
F4:N ou F4:P ou F4:E	Estimativa do “ <i>Track length</i> ” do fluxo na célula; Calcula volumes desconhecidos;	Partículas/cm ²
F6:N ou F6:P ou F6:N,P	Estimativa do “ <i>Track length</i> ” da energia depositada	MeV/g

IV.4 - Modelo antropomórfico

Por vários anos a estimativa de dose de radiação, tem sido determinada através do uso de descrições matemáticas do indivíduo referência, que representa uma população como um todo. Neste indivíduo referência, foram estabelecidas várias características como

massa, dimensões dos órgãos, bem como as composições elementares dos tecidos e dos órgãos do corpo.

Nestes primeiros modelos matemáticos levou-se em conta o tamanho, a forma, a composição e a densidade dos órgãos e consistiam de 3 partes principais que são: a) um cilindro elíptico representando os braços, tronco e quadril; b) 2 cones circulares truncados representando as pernas e os pés com uma região plana anexa representando a região genital; e c) meia elipsóide e um cilindro elíptico representando a região da cabeça e do pescoço. Nestes modelos são considerados 3 composições distintas: a) região do pulmão; b) esqueleto, inclusive medula óssea e; c) tecido mole. Na figura 2 é mostrado o modelo anatômico descrito.

Em 1978, Snyder e outros [1978] introduziram várias modificações no simulador heterogêneo resultando na publicação de novas estimativas de dose.

Figura 2. Modelo antropomórfico matemático de Snyder

Mais tarde, Cristy e Eckerman [1987] introduziram algumas modificações no modelo de Snyder, com diferentes densidades e composições químicas dos diversos órgãos. As principais modificações introduzidas neste modelo em relação ao modelo de Snyder são: a) novo modelo do coração e modificação da região do tronco; b) modificação

no modelo do pulmão para acomodar o novo modelo do coração e também para levar em conta a diferença de tamanho entre o pulmão esquerdo e o direito; não representado no modelo anterior; c) Mudanças no modelo da cabeça incluindo mudanças na posição da tiróide; d) incorporação da região da mama. A partir deste modelo, novas estimativas de dose para fontes de fóton foram geradas. Outros trabalhos têm sido publicados introduzindo outras modificações em determinados órgãos, tais como, sistema digestivo e reto [Mardirossian e outros, 1999], ou então, novos modelos dosimétricos para a região da cabeça e cérebro [Bouchet e outros, 1996].

Em 1995, Guimarães [1995] desenvolveu os dados antropomórficos de massa e altura para o brasileiro médio entre 20 e 40 anos de idade, dando origem ao Manequim Matemático do Homem Brasileiro para uso em dosimetria interna.

Em 1993, Zubal e outros [1993] produziram um manequim baseado em imagens de tomografia computadorizada (CT), a partir de um paciente real, para fins de pesquisa. Neste manequim, cada parte do corpo ou órgão é constituído de pequenos volumes ou “voxels” criados a partir das imagens digitalizadas do paciente. Na figura 3 está ilustrado o modelo do sistema gastro-intestinal no modelo de voxels em comparação com o modelo matemático.

FIG. B-7. Sketch of the gastrointestinal tract model.

Figura 3. Comparação dos modelos de voxel e matemático do sistema gastro-intestinal.

Recentemente, foram publicados pela ICRP [ICRP, 2009] os modelos baseados em voxels para o homem e mulher de referencia. Estes modelos foram então utilizados para determinação das quantidades dosimétricas em radioproteção para trabalhadores e público em geral em casos de exposição à fontes internas e externas. Estes modelos são baseados em imagens médicas de pessoas reais consistentes com as informações dadas pela publicação 89 da ICRP [ICRP, 2003]. Os modelos foram desenvolvidos a partir de pequenas mudanças que foram introduzidas a partir de dois modelos de voxels que são respectivamente: GOLEM e LAURA. As massas dos órgãos de ambos os modelos sofreram pequenas alterações para se ajustar aos dados da ICRP sem, no entanto, alterar as características anatômicas reais.

IV.4.1 - Modelo antropomórfico – ICRP-110

A publicação 110 feita pela ICRP [Publication 110] apresenta 2 modelos antropomórficos construídos por voxels, denominados pela própria instituição como REGINA e REX, sendo respectivamente os modelos feminino e masculino.

Em ambos os modelos, é apresentada diversas tabelas com as informações sobre matérias, densidades, dimensões, e demais características que auxiliam a reconstrução do mesmo para quaisquer estudos.

IV.5 - Simulações para cálculos de dose absorvida

Nas simulações para cálculo de dose absorvida que foram realizadas neste presente trabalho foram considerados fontes de nêutrons com energia na faixa desde 10^{-11} até 20 MeV, englobando assim uma ampla variedade de condições encontradas na prática incluindo locais de trabalho, tais como, usinas nucleares e instalações de equipamentos clínicos como aceleradores lineares. Esta faixa de energia compreende uma região em que existe maior confiabilidade nos dados de seções de choque contido nas bibliotecas de dados nucleares.

Procedimentos em dosimetria aplicada à proteção radiológica dos trabalhadores e do público fazem uso de modelos geométricos que representam o corpo humano. Muitos grupos de pesquisa têm desenvolvido novos modelos para melhor representar o corpo humano. Em todos esses modelos a composição elementar de cada estrutura do corpo precisa ser definida, e que é dividido basicamente em três categorias diferentes: tecido mole, o tecido ósseo e tecido pulmonar. Os seis elementos mais importantes destas estruturas são ^1H , ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , ^{31}P e ^{40}Ca e correspondem a mais de 99% de sua composição.

Ao analisarmos os documentos da ICRP-110 [ICRP, 2009] que são as características dos modelos antropomórficos, percebemos que na descrição dos elementos contidos no arquivo, há mais do que os seis ditos anteriormente, são eles: ^{23}Na , ^{24}Mg , ^{32}S , ^{35}Cl , ^{39}K , ^{56}Fe , ^{127}I .

Neste trabalho foi feito uma análise mais profunda dos principais elementos do corpo humano, mas para mantermos a ideologia do trabalho decidimos gerar as bibliotecas de dados nucleares dos elementos menos abundantes no corpo humano para todas as bibliotecas citadas anteriormente.

Neste trabalho os coeficientes de kerma e seções de choque obtidas diretamente das várias bibliotecas de dados nucleares foram comparados para cada um dos elementos acima mencionados. Para geometria simples como esferas compostas pelos diferentes materiais citados acima.

Como o propósito do presente trabalho é analisar especificamente as discrepâncias causadas por diferentes bibliotecas de dados nucleares será escolhido um modelo geométrico simples, constituído de uma esfera de 10 cm de diâmetro irradiados por uma fonte pontual isotrópica localizada a 2 cm da superfície da esfera localizada no vácuo. Este procedimento permite a obtenção de resultados comparativos diretos. Utilizando o código Monte Carlo MCNP5 foram então calculadas as fluências diferenciais de nêutrons e deposições de energia simulando uma fonte pontual isotrópica de nêutrons com energia de 20 MeV localizada a 2 cm da superfície da esfera.

Para a deposição de energia uma abordagem diferente foi adotada: Várias simulações variando a fonte de energia de nêutrons na faixa do intervalo de energia mencionados acima foram realizadas contabilizando a deposição de energia sobre o

volume da esfera. Estes procedimentos de cálculo, tanto da fluência diferencial, bem como, da determinação de deposição de energia, foram repetidos alterando-se as bibliotecas de dados nucleares.

Na segunda etapa do trabalho foi considerado um modelo antropomórfico para estimativa das grandezas de proteção radiológica como dose equivalente, $H_{T,R}$ conforme equação 12, e também dose efetiva, E , conforme equação 14.

As composições de cada tecido ou órgão do modelo antropomórfico é composta pelas frações em peso de cada uma das 6 componentes consideradas acima, de acordo, com as informações da ICRP para o homem de referencia, mais os elementos menos abundantes. Neste caso, também foram realizadas simulações com diferentes bibliotecas de dados nucleares para quantificar as discrepâncias na dose causadas por diferentes bases nucleares.

V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

V.1 – Extração das informações das bibliotecas de dados nucleares

Como dito anteriormente as bibliotecas de dados nucleares que foram geradas através do NJOY, são correspondentes aos principais elementos presentes no corpo humano, que são: C, N, O, Ca, H e o P; além dos demais elementos menos abundantes que são: Na, Mg, S, Cl, K e Fe.

Uma biblioteca de dados nucleares possui uma série de informações sobre suas seções de choque. Essas informações estão contidas no site <http://www-nds.iaea.org/>. Neste site é possível encontrar diversas bibliotecas utilizadas em diversos tipos de pesquisa no mundo. No caso do presente estudo foram direcionadas apenas as informações de nêutrons, mas há informações de elétrons, prótons, entre outras partículas.

Foram extraídos todos os arquivos referentes aos dados dos elementos que utilizamos referente ao nêutron. No total houve a extração de 39 bibliotecas do site, sendo apenas 13 elementos por biblioteca. Para processar esses dados foi utilizado o código

NJOY que irá preparar essas informações em um formato apropriado para o código MCNP5.

V.1.1 – Geração das bibliotecas de dados nucleares

As bibliotecas geradas foram feitas utilizando o arquivo de entrada do NJOY previamente mostrado neste trabalho. O programa utilizado apresentou duas saídas: a) a biblioteca processada para o uso do MCNP5; e b) saída contendo o caminho que o código MCNP5 deve utilizar para acessar a biblioteca e possibilitar a realização da simulação.

Esse caminho citado no parágrafo anterior é colocado no arquivo XSDIR do MCNP5. O XSDIR é um arquivo que reúne as informações da localização de todas as bibliotecas presentes na pasta de dados. Este arquivo é organizado como lista, desta maneira é necessário fazer o agrupamento de todos os caminhos de cada biblioteca, e juntar a esse arquivo para que as simulações possam ocorrer assim como mostrado na figura 4 abaixo.

5666	1001.00c	0.999167	H1.mcnp
5667	1002.00c	1.996800	H2.mcnp
5668	6000.00c	11.898000	C12.mcnp
5669	7014.00c	13.882780	N14.mcnp
5670	7015.00c	14.871000	N15.mcnp
5671	8016.00c	15.857510	O16.mcnp
5672	8017.00c	16.853100	O17.mcnp

Figura 4 - Arquivo XSDIR

Como é possível observar na figura 4 acima, o XSDIR contém em sequência de lista as informações dos elementos presentes na pasta de bibliotecas. A figura não apresenta todas as informações dos elementos que aparecem, mas aparecem duas informações fundamentais: a) o número do elemento; e b) o nome do arquivo.

O número do elemento funciona como um “código”, onde é possível ver, por exemplo, o Nitrogênio gerado, no qual ele é representado como 7014.00c; 7014 é o

número do elemento lembrando que o Nitrogênio possui número de massa 14 e número atômico 7 por isso 7014, e isso vale para todos os elementos do arquivo. A terminologia é feita pelo usuário. No caso deste trabalho “.00c” representa qual biblioteca o elemento pertence. Como o NJOY permite colocar qualquer terminação, foi definido que para as bibliotecas geradas as terminações seriam: ENDF (.00c), JEFF (.01c) e JENDL (.02c). A junção desses dois irá determinar qual é o elemento e de qual biblioteca ele pertence.

O nome do arquivo é exatamente o nome que ele possui na pasta, e será através disso que o programa ao ler o XSDIR vai procurar. No caso do Nitrogênio, foi colocado N14.mcnp sendo que “.mcnp” é um termo inserido neste trabalho para determinar quais bibliotecas foram geradas, e quais já existiam.

Um detalhe muito importante a ser conferido é se as informações na primeira linha da biblioteca conferem com o caminho colocado no xsdir, caso seja feita alguma modificação em um dos arquivos, é necessário a mesma modificação no outro.

V.1.2 – Validação das bibliotecas geradas

Com as bibliotecas prontas, foi construído um arquivo de entrada do MCNP5 com geometria simples para que fosse possível a comparação dos resultados de fluxo e dose. Foi feito um arquivo de entrada no qual o objetivo era analisar os valores do fluxo, dose, e os valores da taxa de reação (da seção de choque inelástica) para a energia de 20 MeV.

A decisão de serem analisados os valores da taxa de reação da interação inelástica foi tomada após a realização de alguns testes no qual as seções de choque inelásticas se mostrarem diferentes. Para o cálculo dessa diferença foi analisado a taxa de reação, que nada mais é do que a ponderação do valor da seção de choque inelástica em relação ao fluxo.

A tabela 4 apresenta os resultados das simulações para cálculo de fluxo, taxa de reação da interação inelástica e dose em uma esfera próxima a uma fonte pontual de nêutrons, considerando cada elemento, cada biblioteca e para cada arquivo de entrada.

Tabela 4 - Fluxo De Nêutrons, Dose e Taxa de Reação da Seção de Choque Inelástica

Biblioteca Nuclear	Elemento	Fluxo (Part/cm ²)	Desvio Padrão %	Dose (MeV/gram)	Desvio Padrão %	Taxa de Reação de Seção de Choque Inelástica	Desvio Padrão %
MCNP	C	1,84400E-03	0,01	3,44278E-04	0,01	4,00190E-04	0,01
ENDF	C	1,84400E-03	0,01	3,44278E-04	0,01	4,00190E-04	0,01
JEFF	C	1,84400E-03	0,01	3,44289E-04	0,01	4,00190E-04	0,01
JENDL	C	1,82005E-03	0,01	3,98234E-04	0,01	7,24551E-04	0,01
MCNP	Ca	1,79831E-03	0,01	2,07556E-04	0,01	2,44643E-04	0,01
ENDF	Ca	1,79831E-03	0,01	2,07556E-04	0,01	2,44643E-04	0,01
JEFF	Ca	1,79831E-03	0,01	2,07556E-04	0,01	2,44643E-04	0,01
JENDL	Ca	1,83080E-03	0,01	1,77817E-04	0,01	3,20312E-04	0,01
MCNP	H	1,79519E-03	0,01	2,93486E-03	0,01	0,00000E+00	0,01
ENDF	H	1,79519E-03	0,01	2,93486E-03	0,01	0,00000E+00	0,01
JEFF	H	1,79448E-03	0,01	2,93514E-03	0,01	0,00000E+00	0,01
JENDL	H	1,79519E-03	0,01	2,93486E-03	0,01	0,00000E+00	0,01
MCNP	O	1,80675E-03	0,01	2,27304E-04	0,01	3,58239E-04	0,01
ENDF	O	1,80675E-03	0,01	2,27304E-04	0,01	3,58239E-04	0,01
JEFF	O	1,80642E-03	0,01	2,27496E-04	0,01	3,58220E-04	0,01
JENDL	O	1,84138E-03	0,01	6,00231E-04	0,01	9,10524E-04	0,01
MCNP	N	1,78826E-03	0,01	3,46351E-04	0,01	6,28293E-04	0,01
ENDF	N	1,78826E-03	0,01	3,46351E-04	0,01	6,28293E-04	0,01
JEFF	N	1,78826E-03	0,01	3,46351E-04	0,01	6,28293E-04	0,01
JENDL	N	1,77143E-03	0,01	3,85840E-04	0,01	4,76440E-04	0,01
MCNP	P	1,84142E-03	0,01	2,21383E-04	0,01	9,09329E-04	0,01
ENDF	P	1,84142E-03	0,01	2,21383E-04	0,01	9,09329E-04	0,01
JEFF	P	1,85033E-03	0,01	1,04022E-04	0,01	2,41749E-04	0,01
JENDL	P	1,85033E-03	0,01	1,04022E-04	0,01	2,41749E-04	0,01

Da tabela 4 observa-se que os erros são muito pequenos mostrando que os resultados obtidos com diferentes bibliotecas são muito próximos. A biblioteca MCNP é a biblioteca que vem junto com o programa do MCNP5, já a ENDF é a biblioteca gerada para este trabalho. As duas possuem a mesma base, mas é necessária a comparação para saber se a geração das bibliotecas foi correta. Tendo visto que não há diferença entre elas, a biblioteca ENDF foi tomada como referência para todas as comparações.

ENDF e JEFF apresentaram os mesmos resultados, fato que ocorre também na tabela do fluxo. Entretanto, os resultados com a biblioteca JENDL apresentam resultados divergentes dos demais resultados, com valores que são praticamente o dobro em alguns casos quando se compara, por exemplo, a taxa de reação da interação inelástica.

Os resultados para o cálcio também tiveram um padrão parecido com o carbono, no qual as bibliotecas ENDF e JEFF apresentaram resultados idênticos, sendo que a biblioteca JENDL apresentou resultados fora da margem de erro das outras três.

Ao serem analisados os resultados do Hidrogênio da taxa de reação da seção de choque inelástica, percebemos que a primeira coluna é somente zeros, isso já era esperado,

uma vez que o Hidrogênio não possui interação inelástica com a matéria. Foram feitas essas simulações mesmo assim, exatamente para sabermos se haveria alguma diferença nas taxas de reações, pois caso houvesse seria um indicativo de que na construção dessas bibliotecas algum erro ocorreu e seria necessária a revisão de todas elas. Ao observarmos os outros resultados do Hidrogênio veremos que há um resultado que difere dos outros, mas dessa vez é a JEFF que está discordante dos resultados encontrados do Hidrogênio.

O oxigênio e o Nitrogênio apresentam resultados com o mesmo padrão do Carbono e do Cálcio com a biblioteca JENDL tendo uma resposta diferente das obtidas com as bibliotecas da ENDF e JEFF, isso tanto para a taxa de reação e dose como para o fluxo total e dose.

Por último temos o Fósforo, que é o caso que mais difere dos outros elementos, pois as bibliotecas MCNP e ENDF estão com resultados idênticos entre si, mas bem diferentes dos resultados da JEFF e JENDL que estão com resultados idênticos entre si.

A ENDF gerada neste trabalho tem os resultados idênticos a biblioteca do MCNP, podendo-se afirmar então que a ENDF gerada corresponde a biblioteca do MCNP. Sendo assim para os passos seguintes tomaremos como referência a biblioteca ENDF gerada.

A biblioteca JEFF apresentou resultados semelhantes à MCNP nos casos de três elementos, são eles o C, Ca, e N. Nos casos do H e O, os resultados foram próximos, mas que já extrapolaram a margem de erro dos resultados. No caso do P, o resultado foi bastante diferente se comparado com o da MCNP.

A biblioteca JENDL foi a que mais teve resultados surpreendentes, pois somente um caso, que é o H foi idêntico ao MCNP5, o restante apresentou resultados bastante diferentes, chegando ao triplo do valor de referência em alguns casos. No caso do P, o resultado foi idêntico ao do JEFF.

As diferenças apresentadas podem ser explicadas em parte pelo modo como as bibliotecas foram estruturadas. Cada biblioteca escolhida para este trabalho é utilizada em diferentes lugares do mundo. As bases delas são diferentes, o que implica em diferenças de construção delas, podendo explicar os resultados obtidos.

Um fator importante a se considerar na tabela acima é a diferença das proporções nos resultados. Exemplificando, se observarmos os resultados do fluxo total e da dose no caso do Fósforo, veremos que a proporção do fluxo total para a dose nas bibliotecas do

MCNP5 e ENDF é de 1,84142E-03 para 2,21383E-04, agora a proporção da JEFF e JENDL é de 1,85033E-03 para 1.04022E-04. Se olharmos para o resultado dos fluxos totais entre MCNP5-ENDF e JEFF-JENDL, esperaríamos uma resposta de dose o mais próxima possível, mas não é isso que ocorreu, sendo que, há uma diferença de mais de 100%.

Isso pode ter relação com as seções de choque, e com os tallies utilizados. O cálculo do fluxo não utiliza diretamente os dados da seção de choque, enquanto o cálculo da dose tem uma relação direta com as seções de choque, isso leva a crer que as diferenças entre bibliotecas ficarão mais evidentes em cálculos de dose.

V.2 – Comparação das Seções de choque

V.2.1 – Extração das informações

Para a análise das seções de choque, é necessário utilizar um arquivo de saída do NJOY, no qual foi nomeado de “tape29”, explicado anteriormente. Este arquivo contém todas as seções de choque, uma seguida da outra, porém é necessário um tratamento deste arquivo antes que se possa realizar o estudo sobre ele devido ao formato que se encontra. Na figura 5 podemos ver como ele está composto, i.e., uma tabela na qual a primeira coluna representa a energia, a segunda o valor da seção de choque em Barns, e a terceira novamente a energia, e em seguida o valor da seção de choque. Isso ocorre até a sexta coluna, em seguida há dados sobre o elemento, a identificação da seção de choque que está sendo descrita, e o número de linhas que a seção de choque ocupa. Para uma análise gráfica, é necessário passar esses dados para apenas duas colunas, uma de energia, e outra do valor da seção de choque, por isso é feito um tratamento nesses arquivos.

7.500000-5	1.785520+1	7.812500-5	1.751000+1	8.125000-5	1.718519+12025	3	1	25
8.437500-5	1.687888+1	8.750000-5	1.658937+1	9.062500-5	1.631522+12025	3	1	26
9.375000-5	1.605512+1	9.687500-5	1.580792+1	1.000000-4	1.557261+12025	3	1	27
1.031250-4	1.534827+1	1.062500-4	1.513409+1	1.093750-4	1.492934+12025	3	1	28
1.125000-4	1.473334+1	1.156250-4	1.454551+1	1.187500-4	1.436530+12025	3	1	29

Figura 5 – Saída do NJOY

Com auxílio de um programa em Java, esses arquivos de saída do NJOY foram desfragmentados. Sendo feita essa desfragmentação, é possível comparar as seções de choque de diferentes bibliotecas em apenas uma figura através do uso do MatLab [MATLAB, 2000] e compará-las de maneira adequada. Como já tomamos como base a biblioteca ENDF gerada que é equivalente a ENDF do MCNP5, colocamos nos gráficos as seções de choque da ENDF, JEFF e JENDL, sendo que a ENDF foi considerado o modelo padrão.

V.2.2 – Seção de Choque Total

As figuras a seguir apresentam as comparações de diferentes bibliotecas para o mesmo elemento e mesma seção de choque. Primeiramente foi feita uma análise rápida sobre a seção de choque total, para que então pudéssemos partir para as seções de choque elásticas, inelásticas e seus subsequentes níveis. A figura 6 abaixo apresenta essa comparação para a seção de choque total.

Essas figuras apresentam as seções de choque totais para os elementos C, Ca, H, N, O e P, respectivamente. Ao se observar o primeiro gráfico, figura 6.a, que é o do Carbono (C) pode-se perceber que a princípio não há qualquer diferença visível entre as bibliotecas, o que não explica os resultados diferentes encontrados nas simulações com a esfera, mas por não ter diferenças visíveis, talvez explique o motivo das diferenças serem baixas.

Figura 6.a – Comparação entre as Seções de choque totais para o Carbono

O gráfico da figura 6.b apresenta a seção de choque do Cálcio (Ca), que seguindo o exemplo anterior, o do Carbono, não apresenta diferença visualmente, o que não implica que não há, e sim que há necessidade de uma análise mais profunda sobre essas seções de choque. Na curva para o Ca vale a pena destacar que na região de ressonância, o traço em azul que representa a JENDL parece estar um pouco diferente, mas ampliando a imagem nessa seção de ressonância, o traço da JENDL equivale aos outros.

Figura 6.b – Comparação entre as Seções de choque totais para o Cálcio

A figura 6.c apresenta a seção de choque do Hidrogênio, que ao contrário das outras não apresenta ressonância em sua seção de choque, isso se explica devido ao fato de que o H não possui seção inelástica. Fica nítido então de que as três bibliotecas possuem informações de seções de choque semelhantes, porém é claro também que a JEFF que está apresentada em vermelho, possui mais informações que a ENDF e a JENDL, o que pode causar diferenças nas simulações.

Figura 6.c – Comparação entre as Seções de choque totais para o Hidrogênio

A figura 6.d apresenta a seção de choque do Nitrogênio e segue o mesmo padrão das anteriores, não é possível ver alguma diferença visível, o que não explica as diferenças encontradas nas simulações com a esfera. Assim como o gráfico do Cálcio (figura 6-b), na região de ressonância, o traço em azul aparenta estar diferente dos outros traços, mas ampliando a imagem é possível ver que não há diferenças.

Figura 6.d – Comparação entre as Seções de choque totais para o Nitrogênio

A figura 6e apresenta a seção de choque do Oxigênio, onde mais uma vez é possível perceber a semelhança entre as três bibliotecas estudadas, que por consequência, não levam a qualquer conclusão do porque das diferenças encontradas nas tabelas de fluxo de nêutron, dose, e taxa de reação.

Figura 6.e – Comparação entre as Seções de choque totais para o Oxigênio

A figura 6f apresenta a seção de choque do Fósforo, e mostra a comparação entre as bibliotecas para o caso do P. Ao contrário das anteriores, é nítida a diferença que as

bibliotecas apresentam. Lembrando que assumimos anteriormente que a biblioteca gerada ENDF/B-VII é idêntica a ENDF/B-VII utilizada pelo padrão do MCNP5, portanto é utilizada como nossa biblioteca de referência para comparação. O traço em verde representa a ENDF como já foi dito anteriormente, logo era esperado que as respostas das outras bibliotecas fossem parecidas. Como é possível ver, a JEFF e a JENDL são bem diferentes da ENDF, porém são semelhantes entre si, o que pode explicar o porquê das diferenças encontradas anteriormente para as simulações com P.

Figura 6.f – Comparação entre as Seções de choque totais para o Fósforo

Ao voltarmos à tabela 4 vemos que as diferenças encontradas não são somente no H e P, inclusive, a diferença obtida no H é bem pequena se compararmos com a figura do H com as seções de choque totais onde a biblioteca JEFF e JENDL tem informações nucleares que extrapolam o limite da ENDF. As seções de choque total é a soma de todas as seções de choque que um elemento pode ter, afinal, nem todos os elementos possuem as mesmas seções de choque, vide o Hidrogênio, que não possui informações de interação inelástica com a matéria. Para analisarmos o que causou essas diferenças analisamos as outras seções de choque, elástica e inelástica (inelástica total, e também cada nível inelástico).

V.2.3 – Seção de Choque Elástica

As imagens a seguir representam a comparação dos seis elementos para a seção de choque elástica. É esperado que a seção de choque elástica apresente nos elementos um gráfico semelhante ao apresentado na seção de choque total, uma vez que é muito intensa a interação elástica desses elementos com a matéria.

A semelhança dos gráficos das seções de choque elásticas com os gráficos das seções de choque total é pelo fato daqueles representarem a maior parte da seção de choque total dos elementos. A figura 7.a apresenta o gráfico da seção de choque elástica para o Carbono, e da mesma forma que a seção de choque total, não é possível ver qualquer diferença, ainda não indicando o motivo pelo qual houve diferenças entre os valores encontrados na tabela 4.

Figura 7.a – Comparação entre as Seções de choque Elásticas para o Carbono

Na figura 7b que apresenta a comparação das seções de choque elásticas das três bibliotecas para o Cálcio não é possível identificar qualquer diferença que justifique os resultados anteriores. É interessante destacar que na seção de ressonância é mais provável haver diferenças, mas mesmo com o gráfico expandido não foi encontrado qualquer diferença.

Figura 7.b – Comparação entre as Seções de choque Elásticas para o Cálcio

Como a probabilidade de ocorrer uma reação (n,γ) é muito pequena, é plausível a explicação de que a curva da seção de elástica do hidrogênio seja idêntica a seção de choque total. Sendo assim, na figura 7.c é possível ver que a biblioteca JEFF possui mais informações que as demais, indicando uma possível explicação da diferença apresentada na tabela 4.

Figura 7.c – Comparação entre as Seções de choque Elásticas para o Hidrogênio

Na figura 7.d abaixo podemos ver no traço em azul que representa a JENDL uma pequena diferença na curva antes da área de ressonância no qual a JENDL possui uma menor seção de choque que a ENDF e a JEFF. Este é um indício visível de um fator que pode ter contribuído para as diferenças encontradas anteriormente.

Figura 7.d – Comparação entre as Seções de choque Elásticas para o Nitrogênio

A comparação das três bibliotecas para a seção de choque elástica para o Oxigênio, figura 7.e abaixo, mostra que não é possível ainda identificar a origem das diferenças encontradas nas tabelas de taxa de reação, dose e fluxo de nêutrons.

Figura 7.e – Comparação entre as Seções de choque Elásticas para o Oxigênio

A figura 7.f apresenta a Seção de Choque Elástica do Fósforo mostrando diferenças visíveis, onde o gráfico da seção de choque da JEFF e JENDL, que se demonstram idênticas simplesmente não coincidem com o gráfico da ENDF, algo que já foi visto na comparação do mesmo elemento, mas para a seção de choque total, e que com certeza contribuiu para as diferenças encontradas nas tabelas 4.

Figura 7.f – Comparação entre as Seções de choque Elásticas para o Fósforo

Como já foi dito, o resultado esperado para as seções de choque elásticas é que deveriam ser parecidas com a seção de choque total, e como pudemos ver, todas as curvas coincidem com o que já foi visto, exceto para o caso do P. Um fator importante na comparação dessas curvas é à área de ressonância, pois é nesta área que há maior variação dos valores das seções de choque pontuais. Como conseguimos ver, tanto nas seções de choque totais, como nas elásticas, nas áreas de ressonância não há variação visível, a não ser no caso do P que difere completamente.

V.2.4 – Seção de Choque Inelástica

Para se ter uma melhor análise das bibliotecas estudadas, necessita-se analisar as curvas de seção de choque inelástica que estão apresentados na figura 8 abaixo. Diferentemente das outras curvas apresentadas, na figura 8.a, que apresenta as Seções de Choque inelásticas das bibliotecas, é possível observar diferenças nítidas. A ENDF e a JEFF se equivalem, porém a JENDL apresenta uma diferença significativa.

Figura 8.a – Comparação entre as Seções de Choque inelásticas para o Carbono

Abaixo na figura 8.b está apresentado a comparação das seções de choque para o Cálcio, e como na figura 8.a a biblioteca JENDL em azul possui informações que divergem

da ENDF e JEFF, que resultam em uma diferença importante, que pode ser transmitida para os resultados de fluxo de nêutron e taxa de reação e dose. É possível perceber os pontos das curvas mais próximos são na faixa de energia 10^7 eV, antes desta energia os valores da JENDL são inferiores aos da ENDF e JEFF, e após esta energia ocorre uma inversão, os valores da JENDL são superiores.

Figura 8.b – Comparação entre as Seções de Choque inelásticas para o Cálcio

A figura 8.c apresenta a comparação entre as Seções de Choque Inelásticas para o Nitrogênio, e é possível perceber que há diferença entre a JENDL em relação as demais bibliotecas. A JENDL tem um comportamento diferente, onde começa em uma região diferente e acaba em uma região diferente da ENDF e JEFF. É possível perceber que o comportamento da curva da JENDL se difere logo no começo na região em torno de 3×10^6 eV, onde o primeiro ponto da JENDL tem valor superior a 10^{-4} eV e a ENDF e JEFF valores inferiores a 10^{-12} eV. Em seguida os valores da JENDL são próximos aos da ENDF e JEFF porém ainda há uma variação no meio da curva próximo da região de 6×10^6 eV.

Figura 8.c – Comparação entre as Seções de Choque inelásticas para o Nitrogênio

A figura 8.d, apresenta a Seção de Choque Inelástica do Oxigênio, possui também as mesmas características que as anteriores, a JENDL é diferente das demais bibliotecas. Porém é necessário destacar que o fato de serem diferentes, não implica que as diferenças encontradas na tabela 4, são exclusivamente devido a seção de choque inelástica, embora a diferença na região inelástica seja completamente diferente.

Figura 8.d – Comparação entre as Seções de Choque inelásticas para o Oxigênio

O caso da figura 8.e que apresenta a comparação das Seções de Choque Inelásticas do Fósforo é muito importante para este trabalho, pois mostra como para o mesmo elemento, mesma seção de choque analisada, mas diferentes bibliotecas podem causar uma diferença considerável. Teoricamente é esperado que para o mesmo elemento, mesmo que diferentes, as seções de choque se comportem de maneira semelhante, fato este que não se comprova neste caso do Fósforo, onde a ENDF não possui nenhuma semelhança com a JEFF e a JENDL.

Figura 8.e – Comparação entre as Seções de Choque inelásticas para o Fósforo

Em todos os gráficos a biblioteca JENDL se comportou diferente da ENDF, já a JEFF se comportou diferente apenas no caso do P no qual coincide com a JENDL. Foi possível notar que mesmo que a biblioteca JENDL (fora o caso do P) se comporte de forma semelhante aos gráficos da ENDF, os pontos das curvas não coincidem, levando a crer que em uma simulação os resultados serão diferentes, uma vez que se a base de dados da simulação é diferente, haverá um resultado diferente. A JENDL por ter um resultado bem diferente das outras com certeza teve uma base diferente de criação.

V.2.4.1 – Seção de Choque Inelástica – Níveis Inelásticos

Como a seção de choque inelástica é a soma de todas as seções de choque de níveis inelásticos, desfragmentamos a seção de choque inelástica total, a fim de analisarmos detalhadamente as diferenças.

Foi convencionado nas bibliotecas no formato ENDF que a seção de choque inelástica possui 40 níveis de estados excitados (n,n'), e ainda possui um último nível que é chamado de contínuo, onde ficam todas as reações inelásticas que não se encaixam nos 40 níveis citados anteriormente.

Se for analisado através da física teórica, pode ser encontrado mais de 40 níveis inelásticos, porém como computacionalmente é necessária uma descrição dos níveis, convencionou-se esse modelo. Vale lembrar que nem todos os elementos possuem reações inelásticas, e quando tem, não necessariamente irão apresentar os 40 níveis e/ou o contínuo.

Para que possamos apresentar esses resultados foi criado uma tabela, Tabela 5, onde é apresentada cada biblioteca, com cada elemento e mostra-se quais níveis cada uma possui.

Tabela 5 – Comparação de cada elemento para os níveis inelásticos

	ENDF		JEFF		JENDL	
	Estado Excitado	Contínuo	Estado Excitado	Contínuo	Estado Excitado	Contínuo
C	12	x	12	x	25	X
Ca	20	x	20	x	23	X
H	-	-	-	-	-	-
N	27	-	27	-	40	-
O	7	x	7	x	29	X
P	-	x	6	x	6	X

Números apresentados nas colunas do “Estado Excitado”: Nível Máximo inelástico atingido; x: possui espectro contínuo; -: não possui informações.

A tabela acima apresenta as informações sobre a seção de choque inelástica de cada elemento para cada biblioteca. Ela foi dividida em três partes, que representam as respectivas bibliotecas; e cada biblioteca foi dividida em duas colunas, a do Estado

Excitado e Contínuo, dando no total seis colunas, fora a coluna de identificação do elemento analisado. É importante ressaltar que os números que são apresentados na tabela significam o estado excitado máximo que o elemento em certa biblioteca apresenta.

Como já havia sido notado, há diferenças entre as bibliotecas, e elas podem também ser representadas pela análise da seção de choque inelástica. O Carbono nas três bibliotecas apresenta o espectro contínuo, mas a ENDF e JEFF diferem da JENDL com relação ao nível do inelástico (O nível inelástico é o Estado Excitado da tabela), as duas primeiras bibliotecas atingiram 12 níveis, enquanto a última atingiu 25.

O Cálcio apresenta o espectro contínuo nas três bibliotecas, mas não se equivalem em relação a quantos níveis inelásticos foram atingidos, embora a diferença seja menor que no Carbono, as duas primeiras bibliotecas apresentam até 20 níveis, enquanto a última apresenta 23 níveis.

Apenas como comparação o Hidrogênio foi inserido nessa tabela, pois como já havia sido comprovado anteriormente ele não apresenta seção de choque inelástica, então não teria como ele apresentar níveis inelásticos.

Ao contrário do que foi visto nos outros elementos, o Nitrogênio não apresenta espectro contínuo, mas manteve o padrão da ENDF e JEFF apresentando o mesmo nível inelástico, que no caso alcançou 27 níveis, e a JENDL diferentemente das outras duas bibliotecas, apresentou 40 níveis.

O Oxigênio foi o elemento que mais possui diferenças entre os níveis inelásticos alcançados entre as bibliotecas. O espectro contínuo está presente nas três bibliotecas, e a ENDF e a JEFF se equivalem quanto ao nível inelástico alcançado, que é 7, agora a JENDL apresenta 29 níveis inelásticos.

Por último, o Fósforo tem o resultado bem diferente dos padrões encontrado nos outros elementos, mas já esperado devido aos resultados que as simulações forneceram. A biblioteca ENDF não se equivale a nenhuma das outras, pois ela só possui o espectro contínuo, fato que não ocorre na JEFF e JENDL, ambas possuem espectro contínuo e atingiram 6 níveis inelásticos, indicando uma maior informação sobre suas interações com a matéria, fazendo com que em uma simulação os resultados sejam diferentes.

Todas as diferenças apresentadas nessa tabela mostram o porquê que os resultados das simulações foram diferentes, uma vez que as seções de choque total são a princípio

idênticas. O simples fato de haver mais níveis inelásticos para o mesmo elemento já afirma o fato de que haverá diferença, pois tendo informações diferentes a simulação obterá resultados diferentes.

A tabela acima apresenta as informações de cada elemento para cada biblioteca para averiguar se possui níveis inelásticos e/ou espectro contínuo. Essas informações são muito importantes, e como o objetivo é analisar as diferenças que essas bibliotecas podem causar em cálculos dosimétricos para obtenção de grandezas de proteção radiológica envolvendo modelos antropomórficos é preciso uma análise bastante criteriosa.

Os motivos pelo qual essas bibliotecas apresentam essas diferenças podem ser diversos. Todas as bibliotecas se baseiam em alguma referência para serem construídas, seja essa prática ou teórica, normalmente é um acoplamento das duas, e como já foi dito anteriormente, as bibliotecas escolhidas representam regiões diferentes, isto é, cada uma é utilizada em uma parte do mundo, com dados de pesquisas diferentes, podendo então ter como resultado final bibliotecas com dados diferentes para o mesmo elemento.

Por serem de diversas regiões do mundo a base pode variar, e isso interfere em como se constrói a seção de choque, consequentemente resultará em diferenças de cálculos em programas como o MCNP5. A base de pesquisas teóricas são programas computacionais, e se essas pesquisas tiverem bibliotecas diferentes chegarão a resultados diferentes, que poderá influenciar negativamente, principalmente se a pesquisa for feita para seus resultados serem utilizados em humanos. E é por este motivo que foi necessário expandir este trabalho para analisar o efeito das diferenças das bibliotecas em simulações em modelos antropomórficos.

Os resultados deste trabalho mostram que as bibliotecas utilizadas ao redor do mundo possuem diferenças grandes, e que podem causar diferenças consideráveis na dose. Porém os resultados são provindos de uma simulação simples, em que o único elemento presente na esfera é um dos seis já citados anteriormente, e como já foi dito também, há outros elementos na ICRP 110. É possível esperar resultados diferentes, mas não é possível quantificar esta diferença, pois os elementos que compõe os modelos tem proporções diferentes, o que pode aumentar ou diminuir esta diferença.

A seguir estão as primeiras conclusões deste trabalho:

- Bibliotecas:

- Simulação com esferas (Fluxo Total X Dose, Taxa de Reação X Dose)
  - Resultados Precisos
  - Resultados da ENDF são iguais a do MCNP5
    - Geração das bibliotecas foi correta
    - Diferença entre ENDF e MCNP5 dentro da margem de erro
  - Resultados da JENDL são diferentes da ENDF em todos os 6 casos
  - Resultados da JEFF são diferentes da ENDF no caso do Fósforo
  - Resultados da JEFF e JENDL para o caso do Fósforo são iguais
- Seções de choque
  - Seções de choque confirmam as diferenças encontradas nas simulações
  - Seção de choque do Hidrogênio da JEFF e JENDL possui mais informações que ENDF
  - Seções de choque da JENDL são muito diferentes que a ENDF

V.3 – Construção dos modelos antropomórficos

A ICRP-110 [ICRP, 2009] descreve um modelo antropomórfico feminino e um masculino, nomeados de Regina e Rex, e a construção desses modelos antropomórficos e subsequentemente simulações para cálculo de dose nesses modelos necessitam do auxílio de um programa chamado SCMS (Software para Construção de Manequins Segmentados) [Yoriyaz, 2000], que lê os arquivos que contém todas as matrizes que descrevem os modelos, e em seguida cria um arquivo de entrada do MCNP5.

O arquivo de dados de entrada do SCMS é simples e rápido, o que não leva tempo para o programa criar o modelo antropomórfico como um arquivo do MCNP5. Abaixo está a figura 9 mostrando as características do arquivo de entrada. Como é possível observar há algumas informações que são necessárias colocarmos para que seja feita a construção correta do arquivo MCNP5.


```

299 137 1 348
1 1 0 1.0
132
0 0
141 1
0.2137 0.2137 0.484
1
4
96 97 98 99
44
13 14 15 16 17 18 19 20
21 22 23 24 25 26 27 28
29 30 31 32 33 34 35 36
37 38 39 40 41 42 43 44
45 46 47 48 49 50 51 52
53 54 55 56
1.04 0.26 1.469
1
96 500 500 500

```

Figura 9 - arquivo de entrada do SCMS

Da mesma forma que na primeira etapa, com o arquivo MCNP5 criado é necessário a realização de testes para averiguar se o arquivo de entrada do MCNP5 referente ao modelo antropomórfico foi construído de maneira correta. Como o programa SCMS apenas constrói a geometria do problema, e coloca alguns materiais, e cria a fonte de maneira não correspondente com nosso objetivo, modificamos informações sobre a fonte e informações sobre as simulações.

Foram inseridas informações de todos os órgãos condizentes com a ICRP-110, isto leva em conta os 13 componentes do corpo humano, dentre eles os seis elementos mais importantes estudados com mais detalhes anteriormente. Foi feito dois arquivos de entrada para a fonte, um arquivo de entrada com uma fonte plana na posição posterior-anterior, e outro arquivo de entrada com uma fonte plana, mas na posição anterior-posterior, nomeados aqui de PA e AP respectivamente, demonstrado abaixo na figura 10.

A figura 10 apresenta 2 informações muito importantes para o desenvolvimento deste trabalho, que é a descrição da fonte, e do posicionamento dela em relação ao modelo antropomórfico. A fonte escolhida para a realização das simulações foi uma fonte plana, com dimensões x e y. Esta fonte foi escolhida para atingir em igualdade todas as partes do modelo antropomórfico, pois o modelo foi construído como um paralelepípedo, onde o

“corpo” se encontra inserido. A fonte plana não possui volume, uma vez que não tem continuação no eixo z, e por isso foi colocada em uma das faces do modelo. Como o objetivo do trabalho consiste em avaliar a diferença também da modificação da posição da fonte, foi feita duas abordagens, a primeira com a fonte na face anterior do modelo, que chamamos de posição AP (Antero-Posterior), pois a direção do feixe é da região anterior (parte frontal – ex: Abdômen) do corpo até a posterior (parte que compreende as costas), e a segunda com a fonte na face posterior do corpo, que chamamos de PA (Posterior-Anterior), pois a direção do feixe é da região Posterior até a Anterior.

Figura 10 - Representação das fontes AP e PA

Para cada arquivo de entrada foram feitos mais 2 arquivos de entrada, resultando em 3 arquivos de entrada para possibilitar a verificação das três bibliotecas geradas. As energias de fonte de nêutrons simuladas abrange a faixa desde 10^{-9} MeV até 100 MeV, gerando um total de 47 arquivos de entrada. A relação total de casos simulados são: 2 arquivos de entrada para os modelos antropomórficos, 2 para a fonte, 3 para bibliotecas, e 47 para a energia, resultando um total de 564 casos.

V.3.1– Cálculos de Dose absorvida

V.3.1.1– Cálculos de Dose absorvida – REGINA

As simulações foram divididas em duas etapas; a primeira foi para calcular as doses absorvidas da REGINA, e a segunda, foi para calcular as doses absorvidas do REX. Para cada etapa o arquivo de entrada do MCNP5 foi construído visando dois tipos de posição de fonte, AP e PA, que significam respectivamente Antero-Posterior, e Posterior-Anterior. A fonte foi descrita como plana, cobrindo toda a extensão dos modelos antropomórficos. E para cada posição de fonte foi feito simulações com 47 energias, que descrevem eventos de 10^{-9} MeV até 100 MeV. Lembrando que para cada arquivo de entrada foram consideradas três bibliotecas, resultando em 564 arquivos de entrada.

Os gráficos que virão a seguir na figura 11 apresentam os valores de dose absorvida para o modelo antropomórfico da REGINA, e posteriormente na figura 12 apresentam as doses absorvidas para o modelo REX. As denominações de cores foram escolhidas utilizando-se o padrão das primeira etapa deste trabalho, Verde para ENDF, Vermelho para JEFF e azul para JENDL.

Os valores de dose absorvida da ENDF e a JEFF nas figuras a seguir são muito próximos, com diferenças inferiores a 2%. As exceções dessa afirmação são vistas nas figuras 11.k, 11.l e 11.y, que apresentam as doses absorvidas nas gônadas (com a fonte AP e PA) e as doses na Tireoide (com a fonte na posição AP), respectivamente. Por esta razão, a ênfase foi para a JENDL que apresenta diferenças percentuais acima de 10% tanto em relação com a ENDF, tanto quanto a JEFF.

A figura 11.a apresenta a dose absorvida na bexiga devido a fonte de radiação na posição AP. A primeira observação possível de ser feita é que a ENDF e a JEFF apresentaram aproximadamente a mesma dose, tendo diferenças menores que 2%. As maiores diferenças dentro do valor dito são visíveis nas extremidades da curva, no ponto de 10^{-9} e acima de 20 MeV.

A JENDL apresenta diferença visíveis em quase toda a curva, e essas diferenças variam de 36% (próximo a região de 10^{-2} MeV) a 0,66% (na região de 100 MeV), porém a

média da diferença é de aproximadamente 21 %. Portanto, cálculos de dose usando a biblioteca JENDL fornecem em média valores de dose 21 % mais altos do que aqueles obtidos com as outras duas bibliotecas. Essa grande variação é um reflexo da diferença encontrada nas seções de choque.

Figura 11.a – Comparação entre as Doses absorvidas para a bexiga – REGINA – AP

A figura 11.b apresenta a dose absorvida na bexiga devido a fonte de radiação na posição PA. Um fator muito interessante neste gráfico, é que neste caso a JENDL forneceu resultados mais próximos a ENDF e JEFF. É possível notar que os resultados com a JENDL é discrepante da ENDF e JEFF na faixa de 10^{-2} MeV a 1 MeV, porém, apresenta resultados semelhantes, com uma leve diferença em 30 MeV.

Os pontos de maiores diferenças encontradas nesses gráficos, foi em 10^{-8} MeV, sendo que as três bibliotecas obtiveram resultados semelhantes, e em 0,9 MeV, mas somente a JENDL obteve uma maior diferença neste ponto, chegando a 29 %. A JENDL obteve em média uma diferença de 11 % em relação a ENDF e JEFF.

Figura 11.b – Comparação entre as Doses absorvidas para a Bexiga – REGINA – PA

A figura 11.c apresenta a dose absorvida na medula óssea vermelha, na posição de fonte AP. Os resultados da ENDF, JEFF, e JENDL foram muito semelhantes entre si. As maiores diferenças encontradas na região de baixas energias, com diferença máxima de 13 % quando se compara os valores obtidos com a JENDL em relação a ENDF e JEFF. A diferença média da JENDL em relação as outras bibliotecas é de 1 %

O resultado da medula é importante para este trabalho, uma vez que esta é uma região muito delicada, e qualquer dose a mais, por exemplo no caso de um tratamento, pode ocasionar algum dano mais grave, e obter os resultados próximos mostra a confiabilidade dessas simulações para esta região, porém evidencia o comportamento diferente das curvas da JENDL que na bexiga apresentou diferenças muito mais altas que na medula.

Figura 11.c – Comparação entre as Doses absorvidas para a medula óssea vermelha – REGINA – AP

A figura 11.d mostra a comparação de doses absorvidas obtidas com as diversas bibliotecas para a Medula com a fonte, na posição PA. Os resultados da medula com posição de fonte AP mostraram semelhança entre os resultados da ENDF, JEFF e JENDL, porém podemos ver neste gráfico que a JENDL embora próxima a ENDF e JEFF apresentou uma diferença importante, principalmente na região de 10^{-4} MeV até 1 MeV, onde suas curvas fornecem resultados com diferenças máximas de 22 %. A JENDL apresenta uma diferença média em relação a ENDF e a JEFF de 11 %, o que diferencia muito dos resultados da medula com a fonte na posição AP.

Figura 11.d – Comparação entre as Doses absorvidas para a medula óssea vermelha – REGINA – PA

A figura 11.e apresenta a comparação da dose absorvida na Superfície do Osso Cortical, com a fonte na posição AP. Como é possível perceber, logo no início do gráfico a JENDL já se diferencia em relação as outras bibliotecas.

É visível que a JENDL não se assemelha com quase nenhum ponto das curvas da ENDF e JEFF a não ser pela região ascendente a partir de 1 MeV. A diferença máxima que a JENDL apresenta em relação a ENDF e JEFF é de 25 % e sua diferença média 15 %.

As análises de seções de choque mostraram que as seções de choque inelástica apresentam as maiores diferenças. Lembrando que a reação nuclear de maior probabilidade de ocorrência é a elástica, então se houver uma maior quantidade de reações inelásticas no osso em sua parte cortical, haverá uma maior diferença no valor de dose absorvida. A própria composição do osso é importante, pois caso um elemento que possui uma maior seção de choque para nêutron esteja em maior quantidade em um dos modelos, com certeza contribuirá para o aumento nas diferenças de resultados.

Figura 11.e – Comparação entre as Doses absorvidas para a Superfície do Osso Cortical – REGINA – AP

A imagem 11.f apresenta a comparação das doses absorvidas para a superfície do osso cortical com a fonte na posição PA. A única região em que os valores da JENDL são próximos aos da ENDF e JEFF é a partir de 1 MeV até 16 MeV onde sua diferença atinge seu maior percentual, 21 %. A JENDL apresenta uma diferença média em relação a ENDF e JEFF de 10 %.

Figura 11.f – Comparação entre as Doses absorvidas para a Superfície do Osso Cortical – REGINA – PA

A figura 11.g mostra as comparações de dose absorvida para as mamas com uma fonte na posição AP. Ao comparar a ENDF, JEFF e a JENDL é possível observar que os resultados entre si são muito próximos com pequenas oscilações da JENDL em relação a ENDF e JEFF. A maior diferença que a JENDL possui em relação a ENDF e a JEFF é de 12 % que se encontra no ponto de energia de 20 MeV, e sua diferença média é de 0,8 %.

A divergência dos resultados obtidos com a JENDL demonstra a necessidade de um estudo maior sobre essas diferenças a fim de minimizar resultados diferentes para que os dados nucleares sejam mais concisos entre si.

Figura 11.g – Comparao entre as Doses absorvidas para as mamas – REGINA – AP

A figura 11.h apresenta a comparao entre as doses absorvidas para as mamas com a fonte na posio PA. Os valores das doses da JENDL atingem no mximo 17 % de discrepncia com os valores da ENDF e JEFF, um valor superior ao encontrado nos dados de dose na mama com a fonte na posio AP. A diferena mdia da JENDL em relao as outras bibliotecas de 8%. Essas diferenas encontradas entre os resultados da fonte AP e PA so justificadas pela localizao da regio analisada. Com a diferena do posicionamento da fonte, a distncia da regio analisada em relao a fonte modificada, isto o suficiente para que haja uma maior deposio de dose em algumas regies.

Figura 11.h – Comparação entre as Doses absorvidas para as mamas – REGINA – PA

A figura 11.i abaixo apresenta a dose absorvida para o Cólon na posição de fonte AP. A JENDL obteve resultados próximos aos da ENDF e da JEFF, porém dentro da faixa de 10^{-4} MeV até 1 MeV seus valores foram acima da ENDF e JEFF, chegando a uma diferença de 29%. A JENDL possui uma diferença média de 14% em relação as outras bibliotecas. O motivo que a JENDL apresenta essas diferenças em relação às doses das outras bibliotecas é a diferença das seções de choque inelásticas.

Esta última informação é baseada no fato de que na análise de dose na esfera, a pequena mudança da ENDF para a JENDL causou uma grande diferença no resultado final, e foi provado na análise das seções de choque. Como cada região analisada não possui apenas um material, o efeito dessa diferença pode ser minimizado ou aumentado, uma vez que nem todos os elementos possuem diferenças consideráveis nas seções de choque inelásticas, vide seção de choque do Carbono e Fósforo.

Figura 11.i – Comparação entre as Doses absorvidas para o Cólon – REGINA – AP

A figura 11.j apresenta a comparação das doses absorvidas para o cólon, com a fonte na posição PA, que é parecida com a dose na posição de fonte AP, porém é possível perceber uma menor discrepância entre os valores.

Em relação a figura 11.j, a JENDL obteve o mesmo comportamento em relação a duas bibliotecas, onde dentro da faixa de 10^{-4} MeV até 1 MeV seus valores foram acima da ENDF e JEFF, tendo uma diferença máxima de 22%, e uma diferença média de 10%. Mais uma vez podemos afirmar que as diferenças aqui vistas são reflexos das seções de choque, entre outros fatores já citados.

Figura 11.j – Comparação entre as Doses absorvidas para o Cólon – REGINA – PA

A região analisada pela figura 11.k é muito importante, pois se trata das Gônadas femininas (ovários) com a fonte na posição AP. É possível perceber que na faixa de 10^{-6} MeV até 10^{-3} MeV há pequenas oscilações nos valores da ENDF, JEFF e JENDL. Esse fato pode ter sido ocorrido devido a estatística. Embora o número de partículas simuladas tenha sido o suficiente para atingir erros abaixo de 1%, houve raros casos de resultados acima de 1% isto pode ter levado a valores de dose com oscilações como as apresentada.

A ENDF e a JEFF se diferem no ponto de energia 0,0001 MeV em 11%. Como dito anteriormente, este é uma das únicas figuras que a ENDF e a JEFF se diferem. A JENDL apresenta resultados com diferença máxima em relação a ENDF e JEFF de 20%, e a média das diferenças é de 1 %. As oscilações apresentadas são as causadoras dessa porcentagem baixa, da média das diferenças, com curvas da JENDL diferentes das outras.

Figura 11.k – Comparação entre as Doses absorvidas para as Gônadas – REGINA – AP

A figura 11.1 apresenta a comparação das doses absorvidas nas Gônadas com a fonte na posição PA, e ela mostra uma maior discrepância entre seus valores. É possível observar que a JENDL apresenta resultados acima dos da ENDF e JEFF, chegando a uma diferença máxima de 45 %.

Da mesma forma que as doses nas gônadas com a fonte na posição AP, a ENDF apresenta uma diferença de 11% para a JEFF, porém o ponto de energia que há esta diferença é em 0,05 MEV.

A ENDF, JEFF e a JENDL ficaram próximas até a energia de 10^{-4} MeV, onde a JENDL se distanciou mais ainda da ICRP, e retorna a ter valores semelhantes próximos a energia de 1 MeV. O fato da JENDL apresentar oscilações pode ser pelo mesmo fator apresentado na análise das Gônadas na posição de fonte AP.

Figura 11.1 – Comparação entre as Doses absorvidas para as Gônadas – REGINA – PA

O caso apresentado abaixo pela figura 11.m é a comparação entre as doses absorvidas para o Fígado com a fonte na posição AP. A ENDF, JEFF e JENDL obtiveram resultados semelhantes, a não ser na região que antecede 1 MeV, atingindo uma diferença máxima de 24%, onde os resultados da JENDL tendem a crescer mais rapidamente que a ENDF e JEFF, mas pouco depois de 1 MeV voltam a fornecer resultados semelhantes. A JENDL também se afasta da ENDF e JEFF no final do gráfico chegando também a 23 %, mas termina com os mesmos valores.

Figura 11.m – Comparação entre as Doses absorvidas para o Fígado – REGINA – AP

A figura 11.n apresenta a dose absorvida no fígado para a posição de fonte PA. Logo no início do gráfico é possível perceber que os valores de dose da ENDF, JEFF e JENDL são próximos, com diferença de 1,5%, mas os valores da JENDL se afastam atingindo uma diferença de 27% em relação as outras bibliotecas.

Figura 11.n – Comparação entre as Doses absorvidas para o Fígado – REGINA – PA

A figura 11.o apresenta a comparação entre as doses absorvidas para os Pulmões com a fonte na posição AP. A maior diferença que é possível destacar é na região de 10^{-1} MeV até aproximadamente 1 MeV onde o gráfico da JENDL tem seu valor de dose aumentado mais rapidamente que a ENDF e JEFF atingindo uma diferença de 36%.

As regiões de alta energia possuem diferenças importantes, é notável que a presença de uma diferença percentual maior seja nessas regiões. Como descrito na tabela 1 esta região é de nêutrons rápidos, o que indica que o espalhamento inelástico pode ocorrer com maior frequência, e como esta reação é a que mais se diferencia, então é esperado que haja diferenças maiores.

Figura 11.o – Comparação entre as Doses absorvidas para o Pulmão – REGINA – AP

Em contradição com as doses da figura 11.o, a figura 11.p abaixo apresenta as doses absorvidas para os pulmões com a fonte na posição PA, e seus resultados foram muito diferentes. É possível destacar apenas a região de 1 MeV até 16 MeV como a que a ENDF, JEFF e JENDL apresentaram valores mais semelhantes, com diferença máxima de 13%, isto porque nesta figura, a diferença máxima da JENDL para as outras bibliotecas ocorre na energia 0,02 MeV, com valor de 77 %. Uma justificativa para tal diferença é que pode ter ocorrido muitas interações inelásticas, o que justificaria a grande diferença que a JENDL possui em relação a ENDF e JEFF.

Figura 11.p – Comparação entre as Doses absorvidas para o Pulmão – REGINA – PA

A figura 11.q apresenta a comparação entre as doses absorvidas para o Esôfago para a fonte na posição AP. Os três primeiros pontos apresentaram a maior diferença entre as doses, 16% da JENDL para as outras bibliotecas.

A JENDL neste caso apresentou doses absorvidas muito próximas as da ENDF e JEFF. Estes resultados mostram como as simulações demonstram confiabilidade em seus resultados, ao mesmo tempo em que demonstra diferenças fundamentais, porém estas diferenças são providas das diferenças entre as seções de choque.

Figura 11.q – Comparação entre as Doses absorvidas para o Esôfago – REGINA – AP

A figura 11.r apresenta a comparação entre as doses absorvidas para o esôfago com a fonte na posição PA. É possível perceber que os valores de dose absorvida da JENDL são próximos a da ENDF e JEFF apenas na região crescente, pois na energia de 0,1 MeV a diferença chegou a 40%.

Figura 11.r – Comparação entre as Doses absorvidas para o Esôfago – REGINA – PA

A figura 11.s apresenta a comparação entre as doses absorvidas para o Restante com a fonte na posição AP. O Restante é a junção de diversos tecidos e órgãos do corpo humano, sendo eles: adrenais, cérebro, intestino delgado superior, intestino grosso, rins, músculos, pâncreas, baço, timo e útero.

A análise das curvas desta figura é interessante pois as três bibliotecas obtiveram valores de dose absorvida próximos tendo uma maior diferença na energia de 20 MeV com 18%, e no início da curva, com 14%, porém a média das diferenças é de 1%.

Figura 11.s – Comparação entre as Doses absorvidas para o Restante – REGINA – AP

Um dos principais objetivos deste trabalho é a comparação entre as diversas bibliotecas nucleares para nêutrons disponíveis no CEN. Esta comparação tem como uma de suas justificativas a falta de pesquisas que analisam suas diferenças. Foi provado que a JENDL possui diferenças consideráveis em relação a ENDF e JEFF, porém esta diferença é muito mais visível quando a análise é feita individualmente. Quando há misturas dos elementos, como é o caso do modelo antropomórfico essas diferenças na dose são minimizadas por um efeito de grupo.

A figura 11.t é a comparação entre as doses absorvidas para o Restante com a fonte na posição PA. Ao contrário do que foi visto na figura anterior, é possível perceber que neste gráfico na região de 1 MeV as três bibliotecas estudadas obtiveram valores mais próximos, com diferença máxima de 7%, porém a maior diferença se encontra na energia de 20 MeV, assim como nas curvas com a fonte na posição AP, sua diferença foi de 25%.

Figura 11.t – Comparação entre as Doses absorvidas para o Restante – REGINA – PA

A figura 11.u está a comparação entre as doses absorvidas para a pele com a fonte na posição AP. A JENDL tem uma discrepância em relação a ENDF e JEFF na região de 10^{-7} MeV até pouco depois de 1 MeV. Essa discrepância tem um valor máximo de 33%. A JENDL apresenta valores bem acima das outras bibliotecas, sendo que a média das diferenças percentuais entre a JENDL e a ENDF é de 18%.

Figura 11.u – Comparação entre as Doses absorvidas para a Pele – REGINA – AP

Mais claro que a figura 11.u, a figura 11.v, que mostra a comparação entre as doses absorvidas para a pele para a fonte na posição PA, evidencia a diferença nos valores de doses. Tomando como referência a faixa energética de 10^{-9} MeV até 1 MeV É possível observar que a diferença é muito grande entre a JENDL e as demais bibliotecas sendo que sua máxima diferença é de 84%.

Figura 11.v – Comparação entre as Doses absorvidas para a Pele – REGINA – PA

A figura 11.w representa a comparação entre as doses absorvidas para o Estômago para a fonte na posição AP. As diferenças entre os valores de dose absorvida das bibliotecas são mais próximos do que a figura anterior, porém é possível perceber que mesmo assim as doses da JENDL são muito diferente das da ENDF e JEFF, atingindo uma diferença máxima de 28% na energia 0,3 MeV.

Figura 11.w – Comparação entre as Doses absorvidas para o Estômago – REGINA – AP

A figura 11.x apresenta a comparação entre as doses absorvidas para o Estômago com a fonte na posição PA. A biblioteca JENDL forneceu dados semelhantes aos das bibliotecas ENDF e JEFF, com uma maior diferença encontrada na região de energia de 10^{-2} MeV até 1 MeV. Na energia de 0,9 MeV a diferença percentual entre a JENDL e as outras bibliotecas é de 23%, sendo este o maior valor encontrado nesses dados.

Figura 11.x – Comparação entre as Doses absorvidas para o Estômago – REGINA – PA

A figura 11.y apresenta a comparação entre as doses absorvidas para a tireoide com a fonte na posição AP. A JENDL forneceu dados que mostram sua curva mais próximas as da ENDF e JEFF, sendo que a maior diferença que a JENDL possui em relação as outras é de 26% na energia de 0,9 MeV, porém a média das diferenças é de 6%, um valor relativamente baixo, se formos ter como base a comparação das grandes diferenças entre as doses nas diversas regiões mostradas anteriormente. Vale a pena lembrar que nesta figura a ENDF apresenta um valor de dose no ponto de energia 10^{-9} MeV 11% diferente da JEFF.

Figura 11.y – Comparação entre as Doses absorvidas para a Tireóide – REGINA – AP

A figura 11.z apresenta a comparação entre as doses absorvidas para a tireoide com a fonte na posição PA. Os valores de dose da JENDL apresentam uma diferença máxima de 31% em relação a ENDF e JEFF no ponto 0,9 MeV.

É visível que os dados das bibliotecas possuem uma oscilação dos valores entre a região de 10^{-6} a 10^{-4} MeV. Embora a estatística das simulações tenha sido adequada, a ponto de não ter erro superior a 2% (com raras exceções, mas mesmo essas não superam 5%, e estão localizadas nos extremos das curvas (energia maior que 50 MeV), onde os dados não são muito confiáveis), é provável que haverá uma diminuição dessas diferenças caso o número de partículas seja aumentado. As curvas que virão a seguir na figura 12 apresentam as doses absorvidas no modelo antropomórfico REX.

Figura 11.z – Comparação entre as Doses absorvidas para a Tireoide – REGINA – PA

V.3.1.2– Cálculos de Dose absorvida – REX

A figura 12.a apresenta os resultados de dose absorvida para a bexiga com a posição de fonte AP. Os resultados das três bibliotecas estudadas foram semelhantes, uma vez que a maior diferença foi encontrada na região crescente da curva, que corresponde a energia de 1 MeV, apresentando um máximo valor de 26%.

Um fato interessante na comparação entre REX e REGINA é que no segundo os resultados das simulações com a biblioteca JENDL mostraram valores muito acima das outras bibliotecas, já no caso do REX os resultados das simulações com a JENDL mostraram valores próximos a ENDF e JEFF, isto demonstra a diferença entre os modelos.

Figura 12.a – Comparação entre as Doses absorvidas para a Bexiga – REX – AP

A figura 12.b apresenta os resultados de dose absorvida para a bexiga com a posição de fonte PA. A comparação entre os resultados apresentados na figura 12.b com os resultados apresentados pela figura 11.b mostram que tanto a REGINA quanto o REX tiveram doses absorvidas semelhantes, com destaque aos resultados das bibliotecas estudadas na REGINA que possuem uma maior discrepância do que os resultados do REX. A maior diferença encontrada nesta figura está na energia de 1 MeV, com 25%.

Um fator interessante é que tanto a composição da bexiga feminina como a composição da bexiga masculina possuem características semelhantes, o que sozinho não justifica as diferenças encontradas entre os dois modelos. O que pode justificar também essas diferenças é a região em que se encontra e os órgãos que estão em sua volta, pois qualquer alteração no posicionamento da região de interesse, haverá alteração de dose.

É interessante perceber neste gráfico que na energia de 10^{-8} MeV a ENDF e a JEFF se diferem em relação aos valores de dose absorvida, essa diferença chega a 8,5%. Como cada ponto de energia é uma simulação, e essa diferença é pontual, uma vez que a média das diferenças entre a ENDF e JEFF é de 0,4%, é plausível que isto seja minimizando uma nova simulação com mais partículas.

Figura 12.b – Comparação entre as Doses absorvidas para a Bexiga – REX – PA

A figura 12.c apresenta os resultados de dose absorvida para o Cólon com a posição de fonte AP. Os resultados das simulações mostram que os valores de dose absorvida das três bibliotecas estudadas foram semelhantes, com maiores diferenças na região de 20 MeV, chegando a 20%, isto relacionando o valor de dose da JENDL com as outras.

Figura 12.c – Comparação entre as Doses absorvidas para o Cólon – REX – AP

A figura 12.d apresenta os resultados de dose absorvida para o Cólon com a posição de fonte PA. Assim como na figura 11.d, a mudança da posição de fonte de AP para PA no

caso do cólon fez com que os valores de dose diminuíssem. As doses absorvidas no cólon encontradas utilizando a biblioteca JENDL apresentaram uma maior diferença se mantendo desde 10^{-9} até 10^{-1} MeV com valores inferiores a ENDF e JEFF, sendo que a maior diferença é encontrada na região de baixas energias, chegando a 17 %. Já a diferença entre a ENDF e JEFF chega a 3 %, na energia de 30 MeV.

Figura 12.d – Comparação entre as Doses absorvidas para o Cólon – REX – PA

A figura 12.e apresenta os resultados de dose absorvida para o Esôfago com a posição de fonte AP. É possível perceber que os valores de dose absorvida apresentam variações em relação a linearidade dos dados. Em comparação aos resultados na REGINA, é possível perceber que os valores do REX estão abaixo, o que novamente indica que a diferença de modelo é suficientemente grande para gerar valores diferentes de doses absorvidas. A diferença percentual entre a JENDL e ENDF máxima é de 20 %, e é encontrada na energia 10^{-8} MeV, já entre a ENDF e a JEFF é de 5% na energia de 100 MeV.

Figura 12.e – Comparação entre as Doses absorvidas para o Esôfago – REX – AP

A figura 12.f apresenta os resultados de dose absorvida para o Esôfago com a posição de fonte PA. A média das diferenças entre a ENDF e a JENDL é de 8%, porém na energia de 0,9 MeV, a diferença chega a 24,5%. Tendo em vista que este gráfico apresenta uma escala logarítmica, o espaçamento não é linear, sendo assim a faixa de energia de 10^{-6} a 1 MeV apresenta uma diferença estatística aparentemente maior que a visual. Os artigos publicados pela ICRP, apresentam gráficos que não demonstram com nitidez as diferenças com as doses obtidas com outras bibliotecas, e também não há tabelas com seus resultados, dificultando uma análise mais concreta com os dados da literatura.

Quando comparado com os resultados de dose absorvida na REGINA, os resultados do REX são inferiores. O fato de ter sido depositado menos dose no órgão de referência indica, assim como nos outros casos, que os modelos por serem diferentes, terão respostas diferentes.

Figura 12.f – Comparação entre as Doses absorvidas para o Esôfago – REX – PA

A figura 12.g apresenta os resultados de dose absorvida para o Estômago com a posição de fonte AP. Os valores do REX estão abaixo dos valores da REGINA, a diferença dos valores é causada pela diferença de modelo antropomórfico, que possui diferenças no posicionamento e/ou composição biológica do órgão.

A diferença da JENDL com relação as outras bibliotecas chega a 23 % no ponto de energia 20 MeV, e 22 % no ponto de 1 MeV. É possível perceber que no final da curva da ENDF e JEFF há uma separação de seus resultados de dose, chegando a 8 % na energia de 100 MeV.

Figura 12.g – Comparao entre as Doses absorvidas para o Estmago – REX – AP

A figura 12.h apresenta os resultados de dose absorvida para o Estmago com a posio de fonte PA. A diferena entre as doses na figura 12.g e 12.h comumente vista neste trabalho, onde a troca da posio da fonte reduz, ou aumenta a diferena entre as doses absorvidas, isso se deve as bibliotecas, que so diferentes. Ao trocar a posio, o percurso do nutron se modificar, assim como a deposio de dose no modelo, com sees de choque diferentes, haver doses diferentes.

As maiores diferenas da JENDL para as outras bibliotecas so encontradas nas energias finais, sendo a maior diferena na energia de 100 MeV e 10⁻⁹ MeV, onde atingem 17%. Porm os resultados da JENDL foram mais prximos da ENDF e da JEFF neste caso, tendo uma mdia das diferenas de 1%.

Figura 12.h – Comparação entre as Doses absorvidas para o Estômago – REX – PA

A figura 12.i apresenta os resultados de dose absorvida para o Fígado com a posição de fonte AP. As três bibliotecas estudadas apresentam valores de dose próximos, com maior diferença da JENDL para as outras na região de 20 MeV, onde a discrepância chega a 20%. As doses do REX são inferiores as da REGINA.

É possível perceber que no final das curvas da ENDF e JEFF há uma discrepância entre elas, essa diferença é de 8% na energia de 100 MeV. Por esta região ser estatisticamente não confiável, a diferença apresentada se torna “descartável”, uma vez que a média das diferenças das doses entre a ENDF e JEFF é de 0,3%.

Figura 12.i – Comparação entre as Doses absorvidas para o Fígado – REX – AP

A figura 12.j apresenta os resultados de dose absorvida para o Fígado com a posição de fonte PA. As considerações feitas para as diferenças de doses entre a ENDF e JEFF no fígado com a posição de fonte AP, no REX, podem ser feitas aqui também. A diferença percentual máxima que a figura 12.j apresenta entre a JENDL e as outras bibliotecas é de 17%, na energia 1 MeV.

Figura 12.j – Comparação entre as Doses absorvidas para o Fígado – REX – PA

A figura 12.k apresenta os resultados de dose absorvida para as Gônadas com a posição de fonte AP. É possível observar que os valores da dose absorvida nas gônadas possuem uma variação maior com relação à linearidade de seus dados. Isto pode ser minimizado aumentando o número de partículas simuladas.

A JENDL, como nos outros casos apresenta uma diferença considerável com relação as outras bibliotecas, ENDF e JEFF, de 20% na energia de 0,3 MeV. A ENDF e a JEFF apresentam uma diferença máxima de 10 %, isto na região de 70 MeV. Se a hipótese do parágrafo anterior estiver correta, com um maior tempo de simulação, inserindo mais partículas, essa diferença será minimizada, mas não a ponto das curvas ficarem exatamente “lineares”, isto porque o erro relativo a simulação de cada energia está menor que 3 %.

Figura 12.k – Comparação entre as Doses absorvidas para as Gônadas – REX – AP

A figura 12.1 apresenta os resultados de dose absorvida para as Gônadas com a posição de fonte PA. Um fator interessante observado nesta figura é a oscilação dos valores das ENDF, JEFF e JENDL, mesmo padrão encontrado na figura 12.1, porém com mais nitidez. As diferenças também ficaram mais evidentes, tanto para a JENDL com as outras, assim como a ENDF para a JEFF.

A maior diferença encontrada da JENDL em comparação com a ENDF e JEFF é de 20,5%, encontrado na energia de 10^{-9} MeV. Já a diferença encontrada na comparação das doses absorvidas da ENDF para a JEFF é de 11%, no ponto de energia 10^{-7} MeV, uma das mais altas diferenças encontradas no trabalho (se comparado somente a ENDF com a JEFF).

Figura 12.1 – Comparação entre as Doses absorvidas para as Gônadas – REX – PA

A figura 12.m apresenta os resultados de dose absorvida para a mama com a posição de fonte AP. Neste caso a biblioteca mais destoante das outras é a JENDL que apresenta resultados de doses superiores as outras em praticamente todas as energias, com exceção dos valores na faixa de energia de 1 MeV. A maior diferença encontrada entre a JENDL e as outras é de 19,5%.

Na energia 5×10^{-5} MeV é possível observar que a dose da ENDF é menor do que a da JEFF, tendo uma diferença de 10,5%. Outro ponto com uma maior diferença entre essas duas bibliotecas é na energia de 100 MeV, que chega a 12%. São fatos pontuais essas diferenças entre a ENDF e JEFF, uma vez que a média das diferenças de dose está em 0,25%. É provável que as diferenças encontradas em pontos abaixo de 20 MeV está relacionada com alguma diferença no input da simulação que não foi identificada.

Figura 12.m – Comparação entre as Doses absorvidas para a mama – REX – AP

A figura 12.n apresenta os resultados de dose absorvida para a mama com a posição de fonte PA. Os resultados com a biblioteca JENDL mostram uma maior discrepância em relação às outras, assim como uma oscilação de seus próprios valores. Este fato também é visto pela ENDF e JEFF, porém de maneira mais branda. Uma vez que os erros relativos das simulações estão abaixo de 5%, o que caso diminuísse para abaixo de 1% (aumentando o número de partículas simuladas) não modificaria a ponto de deixar a curva mais linear.

A maior diferença encontrada entre a JENDL e as outras bibliotecas é de 32 %, na energia de 100 MeV, já entre a ENDF e JEFF é de 13 % na energia 5×10^{-6} MeV, porém é visível que essas diferenças entre a ENDF e JEFF são pontuais, diferentemente da JENDL com as outras que ao longo de toda a curva os valores de dose são discrepantes.

Figura 12.n – Comparação entre as Doses absorvidas para a mama – REX – PA

A figura 12.o apresenta os resultados de dose absorvida para a medula óssea com a posição de fonte AP. Os resultados desta figura são muito importantes, pois relatam a dose absorvida em uma parte de nosso corpo de extrema importância. O fato das doses terem sido mais próximas do que as figuras anteriores, não indica que não estão diferentes. É possível perceber que há uma maior diferença a partir de 10^{-2} MeV e que diminui depois de 10 MeV.

Os resultados das três bibliotecas estudadas foram muito próximos, a maior diferença de dose entre a JENDL e as outras bibliotecas é encontrada na faixa energética mais baixa, de 10^{-9} MeV a 10^{-6} MeV, com valor máximo de 14 % na energia de 10^{-9} MeV, porém com média das diferenças de dose absorvida menor que 2%, isso porque há valores de dose da JENDL que se diferenciam em apenas 0,1% (0,07 MeV) das demais. Já entre a ENDF e JEFF o maior valor encontrado é de 4% na energia de 100 MeV.

Figura 12.o – Comparação entre as Doses absorvidas para a medula óssea – REX – AP

A figura 12.p apresenta os resultados de dose absorvida para a medula óssea com a posição de fonte PA. Ao se inverter a posição da fonte as doses obtidas com a biblioteca JENDL estão com uma maior discrepância em relação as outras, chegando ao valor máximo de diferença de 24,5% na energia 0,5 MeV.

Figura 12.p – Comparação entre as Doses absorvidas para a medula óssea – REX – PA

A figura 12.q apresenta os resultados de dose absorvida para a superfície do osso cortical com a posição de fonte AP. Foram observados neste trabalho que a diferença entre as bibliotecas é justificada pela seção de choque inelástica que possui valores diferentes,

logo, as doses absorvidas terão diferenças se houver uma quantidade maior de reação inelástica.

Nesta figura, a seção de choque da JENDL influenciou nas doses absorvidas, pois apresenta muita diferença em relação as doses obtidas com as outras bibliotecas chegando a uma diferença máxima de 26% na energia de 10^{-9} MeV, e uma média das diferenças de dose absorvida de 16 %, a segunda maior média dos resultados do REX com a fonte na posição AP, perdendo apenas para as doses na pele, que chegam a 16,4%

Figura 12.q – Comparação entre as Doses absorvidas na superfície do osso cortical – REX – AP

A figura 12.r apresenta os resultados de dose absorvida para a superfície do osso cortical com a posição de fonte PA. Ao contrário da figura 12.q, as diferenças são bem menores no caso da troca da posição de fonte, sendo que as maiores discrepâncias entre a JENDL e as outras bibliotecas são encontradas no intervalo de energia de 10^{-1} MeV a 10 MeV, mais precisamente na energia 10^{-9} MeV que é de 21,5%.

Figura 12.r – Comparação entre as Doses absorvidas na superfície do osso cortical – REX
– PA

A figura 12.s apresenta os resultados de dose absorvida para a pele com a posição de fonte AP. Não tendo um comportamento diferente das outras figuras apresentadas, a JENDL apresenta uma diferença visível que chega a 28% na energia 0,2 MeV. Além dessa diferença, é possível observar que o comportamento da curva no final é diferente também, pois a ENDF e JEFF continuam tendo seus valores de dose absorvida aumentados, enquanto a JENDL possui uma curva final muito acentuada, tendendo a encerrar o aumento das doses, isto é uma característica clara sobre os efeitos da diferença das seções de choque.

Figura 12.s – Comparação entre as Doses absorvidas na pele – REX – AP

A figura 12.t apresenta os resultados de dose absorvida para a pele com a posição de fonte PA. Nesta figura a diferença entre a JENDL e as outras bibliotecas atinge seu maior nível, 72% de discrepância na energia 5×10^{-5} MeV. Juntamente com este valor, a média das diferenças entre a JENDL e as outras também possui seu maior valor, chegando a 40%. Os valores de dose da ENDF e da JEFF são muito próximos, sendo que a diferença máxima é em 100 MeV, e é de 7%.

Figura 12.t – Comparação entre as Doses absorvidas na Pele – REX – PA

A figura 12.u apresenta os resultados de dose absorvida para o pulmão com a posição de fonte AP. No caso do pulmão é possível observar que a JENDL não apresenta uma diferença como a da figura anterior. A maior diferença encontrada é na energia de 1 MeV, e é de 28,5% .

Figura 12.u – Comparação entre as Doses absorvidas no Pulmão – REX – AP

A figura 12.v apresenta os resultados de dose absorvida para o pulmão com a posição de fonte PA. Com a troca da posição de fonte é possível observar que os resultados de dose absorvida da ENDF e JEFF se afastam da JENDL, sendo que o ponto de maior diferença é de 51,5% na energia de 0,02 MeV.

Figura 12.v – Comparação entre as Doses absorvidas no Pulmão – REX – PA

A figura 12.w apresenta os resultados de dose absorvida para o “restante” com a posição de fonte AP. Os resultados das simulações forneceram doses absorvidas relativamente próximas entre as três bibliotecas. A maior diferença encontrada entre a JENDL e as outras bibliotecas é de 18,5% na energia de 10^{-9} MeV.

Figura 12.w – Comparação entre as Doses absorvidas no Restante – REX – AP

A figura 12.x apresenta os resultados de dose absorvida para o restante com a posição de fonte PA. A maior diferença encontrada neste gráfico é na energia de 20 MeV,

no qual chega a 23 %. Para o cálculo da dose absorvida no restante é necessário fazer a junção de vários elementos do corpo humano especificados de acordo com a ICRP. A seção de choque inelástica da JENDL é a mais discrepante das seções de choque das três bibliotecas estudadas, e esta diferença afeta os resultados de dose absorvida (alguns casos com bastante evidência).

Em casos como o do Restante, é compreensível vermos uma diferença pequena na média, isto porque ao juntarmos vários órgãos e regiões do corpo, estamos juntando composições diferentes, que não necessariamente os nêutrons irão interagir da mesma forma. Caso em uma determinada região, a interação inelástica não se prevaleça, as doses tendem a ficar mais próximas, e o contrário também é verdadeiro, porém a média dessas doses tendem a diminuir essas diferenças causadas pela interação inelástica.

Figura 12.x – Comparação entre as Doses absorvidas no Restante – REX – PA

A figura 12.y apresenta os resultados de dose absorvida para a Tireoide com a posição de fonte AP. Da mesma forma que alguns casos apresentados anteriormente, nesta figura os dados sofrem uma pequena oscilação, o que pode ser diminuído caso a simulação tivesse um número de partículas simuladas maior.

A maior diferença de dose absorvida entre a JENDL e as outras bibliotecas é de 20,5% localizada na energia de 0,7 MeV. Já entre a ENDF e a JEFF a maior diferença é encontrada na energia de 100 MeV e é de 9%.

Figura 12.y – Comparação entre as Doses absorvidas na Tireoide – REX – AP

A figura 12.z apresenta os resultados de dose absorvida para a Tireoide com a posição de fonte PA. A maior diferença entre as doses absorvidas da JENDL e as outras bibliotecas é de 19% na energia de 20 MeV. As doses absorvidas da ENDF e JEFF obtiveram diferenças nas energias 10^{-9} MeV e 5×10^{-9} MeV de 20,5% e 13%.

Figura 12.z – Comparação entre as Doses absorvidas na Tireoide – REX – PA

Então é observado que na grande maioria dos casos as doses absorvidas obtidas com a biblioteca JENDL são diferentes das doses obtidas com as simulações utilizando as bibliotecas ENDF e JEFF, e esta diferença é justificada pela sua seção de choque. Em diversas partes deste trabalho foi mostrado como as seções de choque são diferentes, e não somente a diferença entre as seções de choque, mas também, na quantidade das seções de choque, uma vez que a análise dos níveis inelásticos (seção V.2.4.1) mostrou que a JENDL possui informações adicionais em alguns casos, isto causa diferenças nas doses.

A JEFF possui diferenças em relação a ENDF, porém os resultados das simulações que foi utilizada são muito próximos da ENDF, isto justifica o porque das pequenas diferenças entre as duas. Em alguns pontos a diferença entre as doses absorvidas entre a ENDF e JEFF foram maiores que 10 %. Na análise do P foi visto que a seção de choque (total, elástica e inelástica) é completamente diferente, logo se há uma maior concentração de P em um determinado elemento, haverá uma diferença entre as doses absorvidas, então em alguns pontos em que as simulações forneceram doses diferentes entre as duas bibliotecas, a concentração do fósforo causou uma diferença nas doses, por conta das interações com o elemento.

Vale lembrar que não foi somente o P que apresentou diferenças, mas também o H, a ENDF possui menos informações que a JEFF e a JENDL, o que também pode levar a uma diferença. Não é plausível justificar as doses encontradas somente por casos pontuais, como o do P, mas sim pelo conjunto das diferenças. O corpo humano é muito complexo e a afirmação de que um elemento causou isto é difícil de manter embasada. A simples troca da posição da fonte fez em alguns casos a dose aumentar, por exemplo, pois ao mudar a fonte, mudamos a distância entre a fonte e o alvo, e também o caminho que o nêutron irá percorrer, isto modifica a dose final. O que é visto de concreto é que para uma mesma metodologia, as três bibliotecas forneceram dados diferentes de seções de choque, que causaram doses absorvidas diferentes,

V.3.1.3– Cálculos de Dose absorvida – ICRP-74

O trabalho foi baseado na ICRP-110, que traz consigo dois modelos antropomórficos de voxel citados acima, REGINA e REX. Em sua publicação, todos os dados referentes a composição foram divulgados, a fim de que os pesquisadores pudessem utilizar seus dados.

Porém, para a utilização dos dados (pensando em um contexto de simulações) é necessário fornecer os dados da construção dos tallies utilizados nas simulações para cálculos de dose. A ICRP-110 divulga esses dados de maneira não muito clara. A construção dos tallies utilizados neste trabalho seguiu totalmente a ICRP-110, logo as doses esperadas devem ser próximas dos dados obtidos pela ICRP-110.

Contudo, não há a divulgação dos dados pontuais das doses absorvidas, nem as diferenças que ocorreram com as alterações de bibliotecas utilizadas. A ICRP-110 foi baseada na ICRP-74, que apresenta 2 modelos antropomórficos matemáticos do corpo humano, sendo um masculino, e um feminino. Esta publicação apresenta tabelas com os valores de dose absorvida, e que foi utilizada para realizar comparações com os dados obtidos neste trabalho.

Não foi apresentado anteriormente essas figuras, pois a diferença das doses da ICRP para as outras bibliotecas era muito grande, não somente de dose, mas também da característica da curva de dose obtida. As principais diferenças encontradas entre os resultados das simulações são provindas do fato de serem modelos diferentes, sendo que a ICRP-74 é um modelo matemático, e a ICRP-110 é um modelo de voxel. Foram selecionados então alguns casos para uma demonstração dessa diferença.

A figura 13.a apresenta os resultados de dose absorvida para as mamas com a posição de fonte AP na REGINA. É possível perceber que a curva da ICRP-74, descrita com a linha preta e marcação de quadrado, não coincide com as curvas das três bibliotecas. O cálculo da ICRP-74 foi feito utilizando outro modelo antropomórfico, o que causa diferença na dose, primeiro por um ser um modelo matemático, e o outro de voxel; segundo, por possuírem características anatômicas (posicionamento do órgão, composição dos órgãos, dimensão do modelo) diferentes.

Mesmo tendo o conhecimento dessas diferenças, foi feita a comparação para analisarmos o “quanto” é diferente. Por se tratar de um modelo antropomórfico do corpo humano, era esperado, ao menos que as curvas fossem mais próximas, fato que não ocorre. A diferença percentual é muito alta, o maior de diferença entre a ICRP-74 e a ENDF se encontra na energia de 100 MeV e é de 122%.

Figura 13.a – Comparação entre as Doses absorvidas na Mama – REGINA – AP

A figura 13.b apresenta os resultados de dose absorvida para as mamas com a posição de fonte PA na REGINA. Embora a curva da ICRP seja mais próxima das curvas da ENDF, JEFF e JENDL (com relação a característica da curva, não a sua diferença percentual), ainda sim há muita diferença. Na comparação entre a ICRP-74 com a ENDF, o ponto de maior diferença se encontra na energia 10^{-9} MeV, e é de 195%.

Figura 13.b – Comparação entre as Doses absorvidas na Mama – REGINA – PA

A figura 13.c apresenta os resultados de dose absorvida para as Gônadas com a posição de fonte AP no REX. Não diferentemente dos resultados da REGINA, as doses no modelo REX também foram muito discrepantes com as doses fornecidas pela ICRP. É possível observar que as curvas das bibliotecas estudadas não coincidem com a curva da ICRP. A maior diferença encontrada entre a ICRP e a ENDF se encontra na energia de 100 MeV e é de 103 %.

Figura 13.c – Comparação entre as Doses absorvidas nas Gônadas – REX – AP

A figura 13.d apresenta os resultados de dose absorvida para as Gônadas com a posição de fonte PA no REX. Embora os resultados das gônadas com a fonte na posição PA tenha mostrado uma maior proximidade das doses da ICRP com as das bibliotecas estudadas, o fato de que a ICRP possui doses não condizentes com os modelos atuais ainda é verdade. A maior diferença encontrada entre a ICRP e a ENDF se encontra na energia de 10^{-8} MeV e é de 90 %.

Figura 13.d – Comparação entre as Doses absorvidas nas Gônadas – REX – PA

As figuras acima mostraram uma clara diferença entre a ICRP-74 e as bibliotecas estudadas. Caso a ICRP-110 fornecesse os dados, não teria sido necessário a comparação entre essa base de dados com a ENDF, JEFF e JENDL. Não somente as características anatômicas dos modelos da ICRP-74, mas também a construção do tally para o cálculo de dose não foi detalhada, o que prejudica a análise. Por estes motivos a análise com a ICRP-74 foi feita, mas anexada a este documento, e não foi utilizada como base para as conclusões tomadas com a dose absorvida.

V.3.2– Cálculos de Dose Efetiva

Após os cálculos e análises das doses absorvidas, foram realizados cálculos de dose efetiva, através das operações já descritas no início deste trabalho mais especificamente pelas equações 12, 13 e 14. A dose efetiva é descrita como a soma das doses equivalente

nos tecidos e órgãos, ponderados pelos fatores de ponderação de cada tecido (vide capítulo III.6.5). No cálculo da dose efetiva é realizado, portanto, uma série de ponderações, e somas. Neste sentido, as diferenças finais obtidas em alguns órgãos poderão ser minimizadas ou maximizadas devido ao cancelamento ou incremento das diferenças parciais.

A figura 14.a apresenta os resultados de dose efetiva para a REGINA com a posição de fonte AP. A JENDL foi a biblioteca que mais apresentou doses diferentes entre todas, é então, compreensível que haja uma diferença visível entre ela e as outras na análise comparativa das doses efetivas. A diferença percentual entre a JENDL e a ENDF e JEFF é de 18 % na energia 0,5 MeV.

As doses efetivas entre a ENDF e a JEFF são próximas, tendo seu valor de maior diferença percentual na energia 0,0002 MeV e atinge 2,3%. As energias 50, 75 e 100 MeV, forneceram em alguns casos resultados muito discrepantes, isto devido aos dados nucleares acima de 20 MeV que não são confiáveis. Um exemplo deste comportamento é a diferença da dose efetiva entre a ENDF e JEFF em 100 MeV que é de 9,5%.

Figura 14.a – Comparação entre as Doses efetivas – REGINA – AP

A figura 14.b apresenta os resultados de dose efetiva para a REGINA com a posição de fonte PA. Foi visto diversas vezes nas imagens das figuras 11 e 12 que ao trocar a posição da fonte modificava significativamente as doses absorvidas. As doses efetivas na

REGINA com a fonte na posição PA mostram uma maior diferença entre as bibliotecas. A JENDL apresenta como maior diferença em relação as outras bibliotecas o valor de 25%, na energia 0,1 MeV. Já entre a ENDF e a JEFF a diferença foi de 3% na energia 0,05 MeV.

Figura 14.b – Comparação entre as Doses efetivas – REGINA – PA

A figura 14.c apresenta os resultados de dose efetiva para a REX com a posição de fonte AP. Os resultados apresentados abaixo mostram uma maior proximidade dos dados da JENDL com as outras bibliotecas, sendo que a maior diferença encontrada é na energia 20 MeV e chega a 16 %. Já entre a ENDF e a JEFF essa diferença é de 1,9% na energia 0,9 MeV e 10^{-8} MeV.

Figura 14.c – Comparação entre as Doses efetivas – REX – AP

A figura 14.d apresenta os resultados de dose efetiva para a REX com a posição de fonte PA. Com a troca da posição da fonte é perceptível que alguns pontos da curva da JENDL se aproximaram das curvas da ENDF e da JEFF, mas também houve o processo inverso, onde há o distanciamento. A maior diferença encontrada da JENDL para as outras é de 15% na energia 0,9 MeV. A diferença entre a ENDF e a JEFF chegou no seu valor máximo na energia 5×10^{-6} MeV e o valor é de 1,7%.

Figura 14.d – Comparação entre as Doses efetivas – REX – PA

No começo deste trabalho foram feitas simulações para cálculos de dose em esferas, nas quais evidenciaram diferenças entre as bibliotecas. Em seguida foram mostradas as diferenças entre as seções de choque da ENDF, JEFF e JENDL, e foi concluído que a JENDL possui muita diferença com relação às outras.

O passo feito em seguida foi aplicar essas bibliotecas de dados nucleares em simulações para cálculos de dose absorvida em modelos antropomórficos do corpo humano. Essas simulações mostraram doses absorvidas diferentes, principalmente ao compararmos a JENDL, o que levou a conclusão de que as seções de choque diferentes podem causar uma grande diferença na dose.

Vale lembrar que nem todas as figuras apresentaram diferenças muito grandes, isto se deve também as seções de choque. A seção de choque com maior diferença é a inelástica, caso não ocorra muita interação inelástica durante o trajeto do nêutron até o alvo, não haverá muita diferença na dose.

Por último foi feita a análise das doses efetivas com base nas simulações da dose absorvida. Como foi possível perceber, as grandes diferenças encontradas foram minimizadas. O cálculo da dose efetiva utiliza uma ponderação dos valores das doses absorvidas com base na energia e alvo. Esta ponderação causou a diminuição das diferenças entre as bibliotecas.

VI. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram utilizadas 3 bibliotecas, a ENDF, JEFF e a JENDL. Todas elas foram processadas pelo sistema NJOY para uso no código MCNP5. Com o sucesso da geração dessas bibliotecas, foram feitas as simulações com a esfera. Por ter tido algumas diferenças, foi analisado as seções de choque Total, Elástica, Inelástica, sendo que a última foi verificada tanto a seção de choque inelástica total, como cada nível inelástico. Foi mostrado que há diferenças fundamentais entre as bibliotecas de dados nucleares que podem em um âmbito maior causar diferenças de doses.

Em seguida, essas bibliotecas foram testadas em modelos antropomórficos do corpo humano. Para isso foi necessário a geração do arquivo de entrada desses modelos, no qual teve seu objetivo atingido, foi reconstruído com sucesso.

Com base na ICRP-110 foram feitos cálculos de dose absorvida, tanto para a REGINA, quanto para o REX, considerando 2 posições de fonte, a Antero-Posterior e Posterior-Anterior. Foi visto que a JENDL apresenta uma diferença muito grande em comparação as doses obtidas com a ENDF e a JEFF, em outros essa diferença era muito próxima de nula, porém foram poucos casos que foi registrado essa diferença pequena.

Os resultados com a biblioteca ENDF foram muito próximos dos resultados da JEFF. Embora de regiões diferentes, a base utilizada para a construção delas foi a mesma, isto para alguns elementos, pois no caso do P foi visto diferença. Além disso, o fato de algumas diferenças terem sido encontradas na região energética acima de 20 MeV, que é uma região pouco confiável, comprova a proximidade de seus dados.

A base para a ICRP-110 foi a ICRP-74, que foi utilizada para comparação das doses absorvidas e efetivas. Porém, logo no começo da análise foi visto que não havia coerência entre seus resultados. Vários motivos podem ter levado a este fator, o principal deles, é que a comparação foi feita com modelos diferentes, características anatômicas diferentes, composições diferentes, um modelo é de voxel, o outro matemático, além da construção dos tallies que modifica o resultado final, e outros fatores. Essa comparação foi anexada ao trabalho para demonstração de sua diferença.

A dose efetiva é uma ponderação das doses absorvidas, logo, diferenças que foram encontradas nas imagens das figuras 11 e 12 foram minimizadas por estes cálculos. Embora houvesse uma grande diferença entre os valores obtidos pela JENDL em relação as outras bibliotecas, na análise das doses efetivas não foi observável diferenças acima de 25%. Embora a análise não seja estritamente da porcentagem, ainda sim o valor se torna muito alto para a aceitação do mesmo.

Logo, a análise da ENDF/B.VII.0, JEFF-3.1.1 e JENDL-4.0 mostrou que há uma grande diferença entre suas seções de choque, principalmente na seção de choque inelástica. Essas diferenças causaram um efeito cascata nas doses, primeiramente, as simulações com a esfera obtiveram valores de dose diferentes, em segui nas doses absorvidas e por último nas doses efetivas nos modelos antropomórficos. Em todas as figuras ocorreu uma diferença visível, mesmo na comparação das doses efetivas, onde ocorreu uma minimização das diferenças.

Este trabalho revelou uma importância fundamental para as pesquisas com bibliotecas nucleares, que é a necessidade de se obter um conjunto de dados nucleares mais consistentes, onde seus valores sejam o mais próximo possível dos valores reais, pois há muita discrepância entre as principais bibliotecas nucleares utilizadas em pesquisas, e se há diferenças entre as pesquisas, e as mesmas forem aplicadas em pessoas (por exemplo), haverá diferentes doses para uma mesma ação, e isto torna o avanço mais lento.

Não é possível sem resultados experimentais afirmar qual das bibliotecas utilizadas apresenta o melhor desempenho, e o mais próximo da realidade. É necessário experimentos com modelos não computacionais, reais. Através desses dados é possível realizar uma comparação que pode mostrar qual dessas bibliotecas está mais próxima da realidade.

VII. REFERÊNCIAS

1. Agostinelli S. "GEANT4 – A Simulation Toolkit", Nuc. Instr. Meth. In Phys. Res. Section A, 503, 250-303, (2003).
2. Alghamdi A A, Ma A, Tzortzis M and Spyrou N M 2005 Neutron fluence-to-dose conversion coefficients in an anthropomorphic phantom Radiat. Prot. Dosim. 115, 606-611.
3. Bouchet LG, Bolch WE, Weber DA, Atkins HL, Poston JW Sr. " A revised dosimetric model of the adult head and brain." J Nucl Med. Jul;37(7):1226-36, 1996.
4. Bozkurt A, Chao T C and Xu X G 2001 Fluence-to-dose conversion coefficients based on the VIP-MAN anatomical model and MCNP5 code for monoenergetic neutrons above 20 MeV Health Phys. 81, 184-202.
5. Chadwick M B et al. 1999 A consistent set of neutron kerma coefficients from thermal to 150 MeV for biologically important materials Med. Phys. 26, 974-991.
6. Chadwick, M. B., Obložinský, P., Herman, M., Greene, N. M., McKnight, R. D., Smith, D. L., Young, P. G., MacFarlane, R. E., Hale, G. M., Frankle, S. C., Kahler, A. C., et al., ENDF/B-VII.0: Next generation evaluated nuclear data library for nuclear science and technology, Nucl. Data Sheets 107, pp. 2931-3060, (2006).
7. Chen J, Meyerhof D and Vlahovich S 2004 Neutron fluence-to-dose conversion coefficients for embryo and fetus Radiat. Prot. Dosim. 110, 693-698.
8. Eckerman K. F. Aspects of Dosimetry of Radionuclides within the Skeleton with Particular Emphasis on the Active Marrow. Fourth International Radiopharmaceutical Dosimetry Symposium; A. T. Achlafke-Stelson and E. E. Watson eds. CONF-851113, Oak Ridge Associated Universities, Oak Ridge, TN 37831, 1986.
9. GIGLIOLI, Milena. Avaliação da distribuição da dose absorvida em radioterapia com campos irregulares e alargados. Dissertação – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo - 2012

10. Guimarães M.I., Desenvolvimento do Manequim Matemático do Homem Brasileiro para Cálculos de Dosimetria Interna. Tese de Doutorado, IPEN, 1995.
11. Hendrix J. S. MCNP5 extensions, version 2.5.0. Los Alamos National Laboratory Report LA-UR-04-0570. Los Alamos, NM: Los Alamos National Laboratory, 2004.
12. International Commission on Radiological Protection. ICRP. Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74. Ann of ICRP, 26 (3/4). Elsevier Science Ltd, Oxford (1996b).
13. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 110: Adult Reference Computational Phantoms, Annals of the ICRP Volume 39 Issue 2, 2009.
14. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 89: Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values, 2003.
15. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60: Recommendation of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP Volume 21 Issue 1-3, 1991
16. Los Alamos National Laboratory. MCNP – A General Monte Carlo N-particle Transport Code, version 5", RICC Compute Code Collection, Los Alamos Scienti_c Laboratory, Los Alamos, New Mexico, 2003.
17. MacFarlane R E The NJOY nuclear data processing system, version 91 1994 Technical Report No. LA-12740-M, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos.
18. MATLAB 6.1, The MathWorks Inc., Natick, Ma, US, 2000
19. Meulders J P, Benck S and Slypen I 2000 Experimental kerma coefficients of biologically important materials at neutron energies below 75 MeV Med. Phys. 27, 2541-59.
20. Mardirossian G.; Tagesson M.; Blanco P.; Bouchet L.G.; Stabin M.; Yoriyaz H.; et. al. "A New Rectal Model for Dosimetry Applications" J. Nucl. Med., 40, p. 1524-31, 1999.

21. Nelson W. R., Hirayama H., Rogers D. W. O. "The EGS-4 code system." Stanford Linear Accelerator Center. Report 265; 1985.
22. Santamarina, A., Bernard, D., Blaise, P., Coste, M., Courcelle, A., Huynh, T. D., Jouanne, C., Leconte, P., Litaize, O., Mengelle, S., Noguère, G., Ruggiéri, J. M., Sérot, O., Tommasi, J., Vaglio, C., Vidal, J. F. The JEFF-3.1.1 Nuclear Data Library. JEFF Report 22, NEA No.6807, OECD (2009).
23. Salvat F., Fernandez-Varea J. M., Acosta and Sempau J. "PENELOPE – A System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport" (Paris:OECD Publications), 2001.
24. Shibata, K., Iwamoto, O., Nakagawa, T., Iwamoto, N., Ichihara, A., Kunieda, S., Chiba, S., Furutaka, K., Otuka, N., Ohsawa, T., Murata, T., Matsunobu, H., Zukeran, A., Kamada, S., Katakura, J. JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering, J. Nucl. Sci. Technol.. 48, 1-30 (2011).
25. Snyder et al. Estimates of specific absorbed fractions for photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. MIRD Pamphlet n.5, revised, January, 1978.
26. Yoriyaz H., Stabin M. G., Santos A. "Monte Carlo MCNP5-4B-Based Absorbed Dose Distribution Estimates for Patient - Specific Dosimetry." J. Nucl. Med., 42, 662-669, (2001).
27. Yoriyaz, H. Desenvolvimento de uma metodologia computacional para cálculo em dosimetria interna. Tese de Doutorado – IPEN – Junho de 2000.
28. Zhang G.; Liu Q. and Luo Q. "Monte Carlo simulations for external neutron dosimetry based on the visible Chinese human phantom" Phys. Med. Biol., 52, p. 7367-83, 2007.
29. Zubal G. Computerized Three-Dimensional Segmented Human Anatomy. Med. Phys. 21(2), Feb. 1994.
30. Zubal G., Harrel C.R., Voxel-based Monte Carlo Calculations of Nuclear Medicine Images and Applied Variance Reduction Techniques. Information Processing in

Medical Imaging., 12th International Conference IPMI'91 Wye, UK July 1991, p23-33.

VII. APÊNDICE

VIII. APÊNDICE A – Seções de choque Inelásticas (níveis inelásticos)

VIII. APÊNDICE A.1 – Seções de choque Inelásticas (níveis inelásticos) - Carbono

Figura 1 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – C 12 – (nível 1)

Figura 2 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – C 12 – (nível 2)

Figura 3 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – C 12 – (nível 3)

Figura 4 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – C 12 – (nível 4)

Figura 5 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – C 12 – (nível 5)

Figura 6 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – C 12 – (nível 6)

Figura 7 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – C 12 – (nível 7)

Figura 8 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – C 12 – (nível 8)

Figura 9 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – C 12 – (nível 9)

Figura 10 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – C 12 – (nível 10)

Figura 11 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – C 12 – (nível 11)

Figura 12 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – C 12 – (nível 12)

Figura 13 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – C 12 – (contínuo)

VIII. APÊNDICE A.2 – Seções de choque Inelásticas (níveis inelásticos) - Cálcio

Figura 14 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 1)

Figura 15 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 2)

Figura 16 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 3)

Figura 17 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 4)

Figura 18 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 5)

Figura 19 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 6)

Figura 20 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 7)

Figura 21 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 8)

Figura 22 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 9)

Figura 23 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 10)

Figura 24 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 11)

Figura 25 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 12)

Figura 26 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 13)

Figura 27 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 14)

Figura 28 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 15)

Figura 29 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 16)

Figura 30 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 17)

Figura 31 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 18)

Figura 32 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 19)

Figura 33 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (nível 20)

Figura 34 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – Ca 40 – (contínuo)

VIII. APÊNDICE A.3 – Seções de choque Inelásticas (níveis inelásticos) – Nitrogênio

Figura 35 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 1)

Figura 36 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 2)

Figura 37 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 3)

Figura 38 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 4)

Figura 39 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 5)

Figura 40 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 6)

Figura 41 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 7)

Figura 42 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 8)

Figura 43 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 9)

Figura 44 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 10)

Figura 45 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 11)

Figura 46 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 12)

Figura 47 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 13)

Figura 48 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 14)

Figura 49 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 15)

Figura 50 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 16)

Figura 51 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 17)

Figura 52 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 18)

Figura 53 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 19)

Figura 54 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 20)

Figura 55 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 21)

Figura 56 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 22)

Figura 57 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 23)

Figura 58 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 24)

Figura 59 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 25)

Figura 60 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 26)

Figura 61 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – N 14 – (nível 27)

VIII. APÊNDICE A.4 – Seções de choque Inelásticas (níveis inelásticos) - Oxigênio

Figura 62 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – O 16 – (nível 1)

Figura 63 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – O 16 – (nível 2)

Figura 64 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – O 16 – (nível 3)

Figura 65 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – O 16 – (nível 4)

Figura 66 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – O 16 – (nível 5)

Figura 67 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – O 16 – (nível 6)

Figura 68 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – O 16 – (nível 7)

Figura 69 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – O 16 – (contínuo)

VIII. APÊNDICE A.5 – Seções de choque Inelásticas (níveis inelásticos) - Fósforo

Figura 70 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da ENDF, JEFF e JENDL – P 31 – (contínuo)

Figura 71 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da JEFF e JENDL – P 31 – (nível 1)

Figura 72 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da JEFF e JENDL – P 31 – (nível 2)

Figura 73 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da JEFF e JENDL – P 31 – (nível 3)

Figura 7 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da JEFF e JENDL – P 31 – (nível 4)

Figura 74 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da JEFF e JENDL – P 31 – (nível 5)

Figura 75 – Comparação entre as Seções de Choque Inelásticas (Níveis Inelásticos) da JEFF e JENDL – P 31 – (nível 6)

VIII. APÊNDICE B – Diferenças Percentuais - REGINA

Tabela B1 - Diferença percentual das doses absorvidas – ENDF-JENDL –AP

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	-4,17	-5,36	-3,84	10,34	-12,18	-8,03	-9,69	-9,16	10,13	-24,71	-17,88	-13,26	-14,71
1,00E-08	-0,69	-3,15	-1,80	15,50	-11,74	-4,30	-16,54	-11,93	13,00	-24,06	-15,10	-11,77	-13,65
1,00E-07	4,07	-1,01	5,67	19,93	-9,29	-1,58	-10,62	-4,46	17,92	-23,63	-12,52	-9,94	-11,64
2,00E-07	7,69	0,96	3,99	25,48	-9,51	-0,87	-15,62	-11,42	19,40	-24,25	-6,91	-9,63	-11,00
5,00E-07	6,02	2,91	9,16	20,70	-8,49	2,73	-8,63	-5,70	21,03	-23,99	-15,68	-8,04	-10,24
1,00E-06	7,87	4,09	7,86	27,38	-6,70	1,33	-13,16	-3,40	22,31	-23,39	-13,29	-7,53	-9,37
2,00E-06	8,16	5,41	7,60	29,19	-5,44	3,95	-8,24	-8,27	23,62	-23,11	-10,89	-7,25	-8,95
5,00E-06	10,32	7,53	11,27	34,20	-4,96	4,29	-7,40	2,56	24,38	-23,28	-1,49	-6,70	-8,48
1,00E-05	10,56	6,86	8,81	33,13	-4,82	5,19	-6,10	-4,38	25,35	-23,36	-10,56	-6,13	-7,96
2,00E-05	11,88	8,35	12,99	32,90	-2,76	5,41	-8,79	-7,26	26,38	-23,09	-4,13	-6,61	-7,02
5,00E-05	13,84	10,06	14,89	33,64	-3,18	7,95	-7,64	-4,65	27,04	-22,49	-10,81	-5,71	-6,22
0,0001	13,93	9,96	16,67	35,18	-2,26	8,65	-6,34	0,09	27,99	-22,79	-0,89	-4,50	-6,31
0,0002	14,83	12,16	16,05	37,35	-2,61	8,83	-10,12	-1,07	29,26	-22,67	-15,79	-4,53	-5,54
0,0005	15,55	14,55	15,77	40,90	-3,13	10,45	-1,83	-3,28	29,73	-22,55	-11,49	-4,10	-5,21
0,001	19,18	13,89	18,63	42,00	-0,71	10,93	-1,64	5,42	30,56	-21,97	0,25	-3,93	-4,42
0,002	19,42	15,96	18,80	43,50	-1,55	14,39	-2,44	8,21	30,55	-21,89	-1,44	-3,02	-3,81
0,005	21,08	17,46	21,30	48,74	-0,95	13,94	-4,13	6,68	31,62	-21,46	-2,60	-2,21	-3,25
0,01	22,42	18,52	22,61	46,43	-0,86	14,92	-1,72	7,65	32,31	-21,82	-2,64	-1,90	-2,36
0,02	21,10	18,99	21,85	50,20	0,12	14,63	-2,36	7,70	32,73	-21,64	-9,60	-0,63	-2,40
0,03	24,68	19,63	22,70	49,86	-0,21	16,55	0,56	8,04	32,63	-21,77	-4,60	-0,84	-1,89
0,05	23,43	22,21	25,79	50,14	-0,28	16,05	3,72	12,60	33,20	-21,47	-9,02	-0,54	-1,12

0,07	25,78	23,79	26,11	55,08	-0,70	18,27	3,59	13,59	33,16	-21,43	-5,67	0,30	-1,05
0,1	27,22	25,55	26,55	56,78	1,18	19,57	9,89	13,26	32,91	-20,97	1,33	0,49	0,10
0,2	28,83	28,64	27,67	53,95	1,95	19,02	5,06	15,20	33,01	-20,02	9,23	2,60	1,52
0,3	29,33	32,83	28,47	57,49	1,12	22,59	8,51	12,11	31,43	-19,57	12,55	3,63	1,88
0,5	28,02	36,95	25,98	50,41	2,55	23,91	15,53	23,94	29,56	-18,35	14,86	6,66	4,43
0,7	22,94	31,69	21,25	40,23	0,81	19,54	11,46	23,69	22,92	-17,18	11,89	5,77	4,40
0,9	26,28	36,05	24,44	47,03	0,57	21,44	13,94	25,64	26,62	-17,43	19,20	6,88	5,12
1	25,06	33,52	22,69	40,40	0,92	20,50	13,72	21,47	24,26	-16,12	15,93	7,53	5,76
2	12,88	20,90	11,00	22,01	-0,06	12,38	12,25	13,36	15,73	-11,76	16,79	5,53	4,25
3	8,56	13,80	7,62	13,76	-0,23	7,35	10,81	10,44	10,72	-9,54	11,68	3,22	2,32
4	5,10	8,95	3,94	9,75	-1,63	4,16	3,90	4,07	6,74	-8,72	6,35	1,05	0,23
5	6,61	11,08	6,43	10,95	1,28	6,88	8,70	7,06	9,19	-3,82	11,28	5,02	4,40
6	6,78	11,58	5,41	8,59	0,15	7,18	10,16	7,17	10,05	-1,22	12,68	6,42	6,28
7	4,15	7,20	3,71	7,12	-0,16	4,42	4,84	5,28	5,95	-3,81	7,26	2,91	2,58
8	4,19	6,60	3,67	6,18	0,31	4,22	4,55	5,25	5,49	-3,44	3,95	2,68	2,45
9	3,58	6,99	3,27	5,40	-1,13	3,98	6,48	5,04	6,19	-2,44	6,88	3,10	3,74
10	3,18	4,94	2,70	5,08	0,30	3,18	3,46	2,35	3,91	-3,58	2,90	1,36	1,60
12	3,59	4,54	3,70	4,96	1,39	3,78	3,48	3,87	4,08	-3,23	4,85	2,36	2,31
14	5,62	6,34	5,80	7,64	1,76	5,30	4,22	7,28	5,48	-0,24	4,93	2,93	3,98
16	10,54	9,79	10,60	12,41	6,93	9,76	7,10	8,25	8,98	4,28	9,02	5,78	7,36
18	18,63	17,52	18,90	20,36	8,44	16,17	11,34	16,93	14,09	10,11	13,56	7,84	13,26
20	24,68	22,68	24,89	27,20	12,77	22,23	15,24	22,55	19,18	15,56	20,53	12,13	18,77
30	21,88	17,86	21,82	23,90	12,96	19,37	13,43	19,95	12,96	10,23	14,20	8,79	13,77
50	15,67	9,66	15,33	18,46	8,07	12,40	3,60	11,20	2,79	-3,93	9,01	0,08	5,10
75	6,12	-0,47	6,01	9,54	0,54	2,64	-5,07	1,83	-7,95	-17,41	-2,19	-9,52	-4,97
100	-2,17	-8,66	-2,15	0,67	-6,24	-5,47	-13,65	-7,73	-15,98	-26,96	-9,40	-16,88	-12,86
Média	13,71	13,20	13,46	28,55	-0,80	9,58	1,02	5,89	18,99	-14,69	0,99	-0,85	-1,04

Tabela B2 - Diferença percentual das doses absorvidas – ENDF-JENDL –PA

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	-2,84	37,83	-7,78	-4,88	-16,61	1,42	5,95	6,01	72,17	-19,67	-2,35	3,04	0,39
1,00E-08	-1,08	41,61	-6,86	-2,83	-16,80	3,08	16,84	0,32	80,45	-19,06	6,25	4,90	2,21
1,00E-07	2,14	50,72	-1,71	1,02	-16,78	6,18	14,55	-3,32	84,05	-17,81	11,39	9,22	6,39
2,00E-07	1,98	55,74	3,55	-0,37	-15,41	9,48	16,63	3,79	83,82	-17,37	7,08	11,33	7,33
5,00E-07	3,31	58,19	1,62	3,77	-15,40	10,52	18,37	3,23	82,91	-17,04	9,78	12,05	8,64
1,00E-06	5,27	59,57	2,75	5,31	-14,92	11,58	20,28	4,66	82,10	-17,23	15,89	12,65	9,37
2,00E-06	5,85	62,06	3,07	8,43	-15,06	10,89	24,88	-1,69	80,97	-17,17	20,73	13,41	10,14
5,00E-06	6,66	64,75	6,68	9,70	-12,26	13,04	23,93	4,68	81,03	-16,84	18,89	14,81	10,85
1,00E-05	8,92	66,39	4,80	9,65	-14,04	13,81	25,66	5,28	79,71	-16,38	24,07	16,38	11,81
2,00E-05	7,88	67,08	5,29	7,92	-14,89	14,13	25,57	1,86	78,97	-16,06	16,63	16,17	11,87
5,00E-05	9,04	70,85	5,24	6,48	-13,05	15,64	27,20	7,76	78,01	-16,28	23,00	17,57	12,70
0,0001	10,37	70,38	6,88	9,94	-14,21	16,27	26,27	7,02	77,38	-16,71	17,04	17,92	12,80
0,0002	11,84	71,94	5,20	8,19	-12,24	16,96	30,78	14,29	76,87	-16,27	26,86	18,03	13,36
0,0005	10,86	71,89	10,27	8,90	-14,13	18,33	25,80	14,98	76,63	-15,94	29,16	18,47	13,87
0,001	12,21	73,71	7,99	13,36	-11,39	19,04	26,08	10,78	75,20	-15,77	26,67	19,77	14,28
0,002	12,29	74,68	10,66	10,02	-12,03	19,84	30,73	15,02	74,70	-15,49	24,77	20,46	14,63
0,005	14,70	75,39	12,12	14,17	-12,09	19,84	33,15	14,62	73,62	-16,00	26,91	20,29	15,05
0,01	15,86	76,35	11,97	19,72	-12,65	21,56	31,12	12,55	71,44	-15,84	28,01	20,56	15,49
0,02	14,12	77,23	14,58	18,31	-11,31	23,26	37,50	13,01	68,60	-15,77	25,04	20,99	15,51
0,03	11,94	76,96	15,96	13,86	-12,52	24,12	34,92	13,22	65,98	-15,22	28,03	21,54	15,79
0,05	16,38	76,94	15,10	22,30	-10,78	24,44	38,16	20,13	61,17	-15,52	38,03	22,25	15,67
0,07	15,95	76,17	17,19	18,26	-12,49	25,70	38,01	17,72	57,85	-15,02	32,04	21,95	15,96
0,1	18,24	74,19	14,92	20,24	-11,70	25,80	40,07	25,10	53,00	-15,39	41,91	21,71	15,31

0,2	17,67	68,62	15,99	20,62	-9,15	26,14	38,93	19,44	42,02	-14,91	45,74	20,88	14,33
0,3	20,19	60,07	16,53	28,86	-10,54	24,09	38,24	22,79	35,71	-13,51	40,40	20,67	13,26
0,5	21,90	49,28	19,86	37,68	-6,26	26,95	30,60	28,26	28,27	-12,04	33,91	19,10	11,72
0,7	21,26	39,28	16,25	35,02	-4,28	21,23	27,41	24,60	23,19	-11,52	33,54	15,86	9,35
0,9	21,21	30,50	22,61	40,64	-3,61	21,93	26,77	30,89	17,44	-10,42	27,34	12,72	7,55
1	21,21	32,22	17,88	36,86	-5,92	21,99	23,78	24,97	19,70	-10,08	27,84	13,86	8,23
2	13,14	15,95	13,15	27,84	-1,85	11,86	10,27	12,13	11,33	-7,37	16,08	7,03	4,10
3	9,03	10,85	8,30	16,42	-1,88	7,62	9,07	8,77	8,48	-5,90	11,08	4,09	2,87
4	5,81	7,62	4,90	11,89	-3,14	4,78	4,28	5,80	5,99	-5,03	8,61	2,16	1,47
5	7,33	7,18	7,91	12,70	1,89	6,67	6,36	7,18	5,27	-3,64	5,65	3,81	2,47
6	7,64	5,62	6,89	12,49	4,80	6,31	5,10	6,98	3,13	-4,11	3,94	3,23	1,29
7	4,72	4,58	4,44	9,45	0,88	4,04	4,22	4,48	3,25	-4,09	3,74	2,05	1,11
8	4,11	4,46	3,70	8,73	1,00	3,69	2,13	3,82	3,30	-3,53	1,17	1,90	1,17
9	5,19	4,13	5,00	8,55	2,49	3,83	3,73	4,67	2,39	-3,58	6,06	1,67	1,19
10	3,36	3,97	3,17	5,04	0,24	2,91	2,88	1,85	3,23	-3,06	3,45	1,57	1,48
12	3,41	3,92	3,62	6,06	1,52	3,33	3,21	4,34	3,14	-3,03	2,91	2,15	1,84
14	5,43	6,83	5,15	7,29	1,47	5,37	6,02	4,85	6,24	0,82	7,18	3,27	4,84
16	9,12	13,60	8,50	9,72	3,57	9,62	12,10	7,78	12,88	7,64	11,09	6,93	10,56
18	16,77	23,46	15,26	16,85	3,74	16,88	16,88	14,51	21,24	15,95	23,30	10,37	19,33
20	22,28	29,10	20,63	21,63	7,16	22,31	21,94	20,69	26,68	21,82	29,26	15,14	25,37
30	18,07	26,38	17,56	17,22	2,77	19,00	20,12	18,18	23,27	18,04	27,14	13,09	22,92
50	11,26	19,63	9,35	9,62	-4,86	11,52	12,93	9,25	15,20	4,76	21,55	5,40	16,09
75	1,11	9,58	-0,50	0,07	-12,55	2,14	3,16	0,31	4,48	-9,42	11,85	-4,10	6,13
100	-6,93	0,80	-8,62	-7,24	-19,15	-6,25	-5,06	-8,54	-4,01	-19,60	3,44	-11,77	-2,29
Média	10,13	42,73	8,45	13,10	-7,75	13,68	19,95	10,40	43,37	-9,70	19,19	11,63	9,70

Tabela B3 - Diferença percentual das doses absorvidas – ENDF-JEFF –AP

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	-4,97	2,11	-0,72	-6,25	0,82	-3,02	6,98	11,69	-0,42	0,39	-5,81	0,18	-0,25
1,00E-08	-2,20	0,56	-2,25	0,78	0,33	-3,26	-1,17	-7,56	-0,25	0,05	0,57	-0,16	0,09
1,00E-07	0,18	0,00	-0,20	0,41	1,94	-0,93	-6,29	3,02	0,39	0,47	4,81	-0,01	0,42
2,00E-07	1,08	0,11	0,00	1,31	-2,86	-0,23	-0,15	-2,18	0,00	-0,18	-2,29	0,36	0,13
5,00E-07	-2,82	-0,45	-0,44	-4,18	-1,25	-1,03	-1,10	-1,63	-0,32	-0,70	-0,62	-0,83	-0,78
1,00E-06	0,41	0,71	0,09	3,25	-0,36	0,71	1,74	-5,53	-0,37	0,04	0,06	0,15	0,26
2,00E-06	-0,29	2,13	-0,18	0,61	0,43	1,65	-0,88	6,55	0,24	-0,24	-3,55	0,11	-0,23
5,00E-06	-0,32	-0,06	0,44	0,83	0,84	-0,72	-1,90	-1,09	-0,29	0,02	6,38	0,35	-0,17
1,00E-05	-0,42	-0,66	-2,79	0,74	0,74	-0,34	1,78	4,42	0,20	-0,90	6,28	-0,35	-0,51
2,00E-05	-0,15	0,01	0,69	1,39	2,04	-1,93	1,81	2,68	0,12	0,35	4,78	-0,03	-0,02
5,00E-05	0,76	0,80	0,32	0,63	0,98	2,68	0,69	-1,67	0,19	0,59	0,22	0,29	0,75
0,0001	-0,80	-1,19	1,94	1,27	0,02	1,63	-0,95	2,60	0,14	-0,64	11,05	0,17	-0,24
0,0002	-1,72	-0,54	0,25	0,79	0,85	-1,20	-2,18	-5,12	0,09	-0,45	-10,42	-0,11	0,07
0,0005	-2,56	-0,12	0,95	-0,43	-1,22	-0,81	3,57	3,04	-0,13	-0,16	-2,71	-0,24	-0,64
0,001	0,12	-1,28	1,20	-0,64	-1,11	-1,65	-1,48	-5,79	-0,13	-0,17	-4,36	-1,04	0,01
0,002	0,59	-0,78	1,35	-1,92	0,31	0,77	5,04	6,02	-0,35	-0,32	-3,20	-0,70	-0,21
0,005	-1,34	0,03	0,21	0,87	0,24	1,02	0,38	2,35	-0,07	-0,21	-1,44	-1,14	-0,49
0,01	-0,17	0,47	-0,70	-0,42	-0,60	0,19	-4,92	2,30	0,15	0,11	-7,61	-0,13	0,13
0,02	-3,16	-0,68	1,22	-2,42	1,22	-0,64	-2,82	-1,22	0,12	-0,01	-8,86	0,17	-0,07
0,03	-0,33	0,74	0,31	-0,79	0,97	-0,15	-0,99	-1,53	0,33	-0,22	6,32	1,35	0,32
0,05	-0,78	0,09	1,37	-0,37	1,49	-0,64	-0,66	4,47	0,75	-0,65	-7,42	-0,76	-0,15
0,07	0,72	-0,79	-0,59	3,63	-0,12	0,78	-0,39	6,29	0,27	0,46	-11,19	-0,34	-0,22
0,1	-0,36	0,40	2,03	0,17	0,08	0,83	5,75	3,33	-0,06	0,55	0,66	0,02	0,46

0,2	-0,96	-0,18	-0,23	1,20	0,58	-1,99	0,77	2,95	0,52	0,51	4,34	0,26	0,34
0,3	-1,13	1,12	-0,99	-0,26	0,09	0,19	2,36	-4,81	0,41	0,34	8,28	-0,42	-0,14
0,5	-1,05	0,56	-1,75	-1,41	0,47	-0,64	-1,05	0,18	-0,35	-0,20	-6,00	-0,14	-0,47
0,7	-0,37	-1,11	-0,25	0,29	0,58	-0,54	-1,75	4,07	-0,06	-0,42	-0,59	-0,48	-0,39
0,9	-0,61	0,61	-1,45	1,02	-0,36	-0,74	-1,63	9,29	-0,24	-0,18	-1,91	0,40	-0,11
1	1,25	-0,38	1,14	0,78	0,73	0,53	-2,62	-1,00	0,09	-0,06	1,39	-0,09	0,09
2	-0,27	-0,66	-0,71	0,25	0,17	0,01	-0,42	-0,79	0,10	-0,01	-0,56	-0,09	-0,13
3	-0,13	-0,14	-0,24	-0,61	-0,08	0,18	-0,15	-0,13	-0,09	-0,42	1,54	-0,30	-0,12
4	-0,31	0,10	0,17	0,22	0,05	-0,06	0,35	0,98	0,21	0,00	0,42	0,08	0,09
5	0,18	0,04	0,21	-0,30	0,29	0,09	0,38	-1,77	0,17	-0,45	-1,52	-0,05	0,08
6	0,15	0,02	-0,12	-0,21	0,43	-0,19	-0,78	-0,59	0,15	-0,79	-0,03	-0,15	0,01
7	0,07	-0,13	-0,07	0,29	-0,12	-0,09	-1,25	-0,05	-0,12	-0,97	-0,09	-0,38	-0,19
8	0,35	0,14	0,21	0,09	0,19	0,12	-0,24	0,65	0,13	-0,75	-0,82	-0,28	0,00
9	0,08	0,17	0,29	-0,25	0,14	0,19	0,81	0,21	0,13	-1,09	0,60	-0,15	0,12
10	0,16	0,25	-0,12	-0,22	0,27	0,26	0,17	-0,20	0,17	-1,35	0,32	-0,11	0,14
12	0,06	0,03	0,23	0,16	0,20	0,14	-0,72	0,24	0,13	-1,66	-0,68	-0,22	0,12
14	0,05	0,13	0,21	0,20	0,20	0,12	0,20	0,88	0,10	-1,65	0,53	-0,20	0,11
16	0,08	0,08	0,06	0,28	0,19	0,03	-0,10	-0,29	0,10	-1,63	-0,58	-0,08	0,09
18	-0,04	0,11	-0,09	0,04	0,08	-0,01	-0,04	0,33	0,06	-1,84	0,60	-0,10	0,10
20	0,00	0,04	0,17	0,14	-0,04	0,01	-0,37	-0,07	0,04	-2,01	0,02	-0,22	0,05
30	-1,49	0,02	-1,42	-2,63	-2,39	-0,66	1,10	0,34	1,81	0,69	-0,58	0,48	1,20
50	-6,60	-4,83	-6,78	-7,07	-8,31	-5,54	-4,42	-5,63	-1,06	-1,16	-2,67	-3,54	-2,73
75	-9,56	-7,78	-10,10	-9,85	-11,74	-8,39	-6,98	-8,74	-3,44	-2,60	-6,97	-6,76	-5,46
100	-9,77	-8,16	-9,96	-10,60	-12,06	-8,70	-7,94	-8,67	-3,29	-2,72	-8,45	-6,98	-5,60
Média	-1,03	-0,39	-0,58	-0,62	-0,53	-0,68	-0,48	0,27	-0,08	-0,47	-0,89	-0,47	-0,30

Tabela B4 - Diferença percentual das doses absorvidas – ENDF-JEFF –PA

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	1,24	0,08	2,39	1,61	2,96	1,71	-4,99	3,47	0,27	0,33	-6,89	1,39	0,78
1,00E-08	-3,13	-0,89	-5,69	3,11	1,30	0,92	2,47	1,23	-0,50	-0,66	4,72	-0,48	-0,73
1,00E-07	-0,04	0,27	-0,54	-0,94	2,10	-0,66	1,67	2,74	-0,06	-0,26	-4,91	-0,21	-0,07
2,00E-07	-1,99	0,70	0,61	-4,43	-0,36	0,31	2,50	-0,63	-0,04	-0,08	-4,64	0,63	0,09
5,00E-07	-0,60	-0,56	0,01	-1,17	-0,49	0,04	-1,37	0,93	0,20	-0,41	-3,31	-0,84	-0,05
1,00E-06	1,93	-0,43	-0,60	4,50	0,73	1,35	4,21	2,51	-0,09	-0,18	-3,97	0,61	0,11
2,00E-06	-0,80	-0,99	-1,43	0,43	-1,23	-2,05	2,72	-4,60	-0,42	-0,61	5,46	-0,30	-0,14
5,00E-06	-0,08	0,17	1,51	1,19	-1,29	1,61	1,51	1,27	0,14	0,25	-6,67	0,20	-0,15
1,00E-05	1,23	0,02	0,60	-0,84	1,43	-1,37	2,26	-3,76	-0,29	-0,07	6,34	0,30	0,32
2,00E-05	-1,54	0,90	-2,86	0,29	0,14	-0,77	2,61	3,39	0,18	0,06	3,43	0,44	0,23
5,00E-05	0,49	-0,49	0,57	-0,83	0,66	-0,36	-3,34	-0,91	-0,08	0,25	-3,44	-0,32	0,03
0,0001	-0,59	-0,47	1,80	-0,56	0,15	0,66	-0,83	5,22	0,19	-0,92	-8,87	0,46	0,25
0,0002	2,09	-0,19	-3,94	-1,73	0,23	-0,54	0,78	4,68	0,31	-0,37	-2,18	-0,29	0,25
0,0005	0,43	-0,36	3,20	2,42	-0,85	0,12	-1,88	-0,64	0,13	-0,51	0,77	-0,41	-0,11
0,001	0,74	0,04	-2,29	0,21	2,02	0,02	-0,31	-0,83	-0,44	-0,10	2,25	0,46	-0,32
0,002	-1,35	0,31	-0,69	-0,81	-0,56	0,70	0,10	-0,20	-0,15	0,30	0,82	0,82	0,14
0,005	-0,08	0,12	3,77	-0,23	0,27	-1,39	-3,04	-6,17	0,03	-0,55	-3,05	-0,13	0,18
0,01	0,17	0,31	0,37	1,51	-3,03	0,33	-3,66	1,52	-0,01	-0,39	-5,12	-0,77	-0,10
0,02	-1,81	-0,62	1,17	-0,72	4,16	2,18	2,47	-4,49	0,26	-0,17	-6,33	0,15	0,14
0,03	-1,59	-0,53	1,75	0,31	-0,57	0,65	-0,21	-1,36	-0,11	-0,19	-5,45	-0,38	-0,20
0,05	1,67	0,20	1,10	1,94	-0,69	1,07	1,65	1,03	0,08	0,30	10,87	0,59	0,27
0,07	1,04	0,08	0,68	2,80	0,51	0,65	-1,50	-1,25	0,15	0,12	-4,06	-0,93	0,39
0,1	-0,91	-1,34	-0,72	-1,80	-2,36	0,49	0,89	-0,99	-0,18	-0,69	1,04	-1,01	0,18

0,2	0,01	-0,05	-0,52	-2,38	2,24	0,59	-0,29	0,82	0,01	-0,08	8,26	0,10	0,06
0,3	1,84	-0,02	-2,97	1,31	0,85	-1,98	2,34	0,76	-0,08	0,05	-1,44	0,08	0,02
0,5	0,41	-0,09	-1,97	2,44	0,34	-0,67	-3,31	1,19	0,05	-0,30	0,44	-0,45	-0,33
0,7	-0,77	0,56	-0,98	2,73	7,40	-0,85	2,37	-1,24	0,14	0,34	-2,04	0,21	0,07
0,9	0,08	-0,10	-1,17	-1,73	-4,83	0,75	1,44	-3,07	0,00	-0,18	-1,12	-0,17	-0,06
1	-0,23	0,19	-1,68	1,11	-2,36	0,89	0,55	1,90	0,04	0,09	2,00	0,08	-0,02
2	-0,51	0,13	-0,34	-0,44	0,27	-0,47	-0,88	-1,88	0,10	0,08	-0,81	0,02	-0,07
3	-0,18	0,11	-0,25	-1,10	0,11	-0,08	0,61	0,84	0,16	-0,23	0,22	-0,03	0,02
4	-0,17	0,25	0,55	0,13	-0,24	-0,06	0,48	0,60	0,16	0,16	0,13	0,18	0,09
5	-0,29	0,17	-0,15	-0,44	0,37	0,22	-0,26	-0,72	0,17	-0,61	-0,33	0,07	0,12
6	-0,05	0,10	-0,42	-0,63	0,08	-0,25	0,19	1,24	0,17	-0,84	0,16	-0,07	0,07
7	0,09	0,44	0,07	-0,73	-0,24	-0,12	0,44	1,15	0,44	-0,51	0,21	-0,19	0,25
8	-0,05	0,34	0,36	0,20	-0,15	-0,01	0,02	-0,79	0,38	-0,58	0,30	-0,13	0,30
9	0,21	0,30	0,21	-0,04	-0,17	0,20	0,43	0,10	0,19	-1,21	0,71	-0,04	0,15
10	0,16	0,25	0,42	0,46	-0,23	0,12	-0,06	0,67	0,23	-1,52	0,05	0,03	0,20
12	0,08	0,28	0,41	0,42	0,06	0,14	0,11	-0,18	0,20	-1,69	0,26	-0,01	0,23
14	0,02	0,28	0,14	-0,11	0,17	0,20	0,19	0,48	0,19	-1,77	-0,41	-0,07	0,19
16	0,17	0,05	-0,04	0,20	0,30	0,24	0,41	-0,23	0,14	-1,77	-0,23	-0,10	0,15
18	0,24	0,09	0,17	-0,44	0,08	0,21	0,33	-0,34	0,09	-2,00	0,51	-0,09	0,10
20	0,25	0,00	0,09	0,42	0,03	0,09	0,07	-0,49	0,05	-2,05	-0,33	-0,15	0,09
30	-0,03	-2,43	0,70	0,83	0,47	-0,25	-1,83	1,49	-1,48	-1,81	-1,39	-0,95	-1,50
50	-4,50	-8,55	-4,17	-3,89	-4,27	-5,76	-7,44	-6,56	-6,11	-5,30	-8,85	-5,97	-6,67
75	-7,51	-11,69	-7,58	-6,84	-8,73	-8,43	-10,85	-6,13	-8,77	-7,16	-9,99	-8,78	-9,53
100	-7,58	-12,01	-7,70	-7,88	-9,66	-8,94	-11,09	-8,28	-8,73	-7,38	-10,80	-9,15	-9,60
Média	-0,46	-0,75	-0,55	-0,22	-0,28	-0,39	-0,45	-0,35	-0,48	-0,87	-1,23	-0,54	-0,51

Tabela B5 - Diferença percentual das doses absorvidas – JEFF-JENDL –AP

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	0,84	-7,31	-3,14	17,70	-12,89	-5,16	-15,58	-18,67	10,59	-25,00	-12,81	-13,42	-14,50
1,00E-08	1,54	-3,70	0,46	14,61	-12,03	-1,07	-15,55	-4,73	13,28	-24,10	-15,58	-11,63	-13,72
1,00E-07	3,88	-1,01	5,88	19,44	-11,02	-0,66	-4,63	-7,26	17,47	-23,99	-16,54	-9,92	-12,01
2,00E-07	6,53	0,85	3,99	23,85	-6,85	-0,64	-15,49	-9,45	19,40	-24,12	-4,73	-9,95	-11,12
5,00E-07	9,10	3,37	9,64	25,96	-7,34	3,80	-7,62	-4,13	21,41	-23,46	-15,16	-7,27	-9,54
1,00E-06	7,43	3,35	7,76	23,38	-6,36	0,61	-14,64	2,25	22,76	-23,42	-13,34	-7,67	-9,61
2,00E-06	8,48	3,21	7,80	28,40	-5,84	2,26	-7,42	-13,91	23,32	-22,92	-7,60	-7,35	-8,74
5,00E-06	10,67	7,59	10,78	33,09	-5,74	5,05	-5,61	3,69	24,74	-23,29	-7,40	-7,02	-8,32
1,00E-05	11,02	7,57	11,93	32,16	-5,52	5,55	-7,75	-8,43	25,10	-22,66	-15,84	-5,80	-7,49
2,00E-05	12,05	8,34	12,21	31,07	-4,71	7,48	-10,41	-9,68	26,24	-23,37	-8,51	-6,58	-7,00
5,00E-05	12,99	9,18	14,52	32,81	-4,12	5,13	-8,28	-3,03	26,79	-22,94	-11,01	-5,98	-6,92
0,0001	14,85	11,29	14,46	33,48	-2,28	6,90	-5,43	-2,44	27,81	-22,29	-10,75	-4,66	-6,09
0,0002	16,83	12,76	15,76	36,27	-3,43	10,15	-8,12	4,28	29,15	-22,32	-6,00	-4,42	-5,60
0,0005	18,59	14,70	14,69	41,51	-1,93	11,35	-5,22	-6,13	29,90	-22,42	-9,02	-3,86	-4,60
0,001	19,03	15,36	17,22	42,91	0,40	12,80	-0,16	11,90	30,73	-21,84	4,82	-2,92	-4,43
0,002	18,71	16,88	17,21	46,31	-1,86	13,51	-7,12	2,06	31,01	-21,64	1,81	-2,34	-3,60
0,005	22,73	17,43	21,05	47,45	-1,19	12,79	-4,50	4,23	31,71	-21,29	-1,18	-1,08	-2,77
0,01	22,63	17,96	23,47	47,05	-0,27	14,70	3,37	5,23	32,12	-21,90	5,38	-1,77	-2,49
0,02	25,05	19,80	20,38	53,92	-1,09	15,36	0,47	9,03	32,57	-21,64	-0,82	-0,79	-2,33
0,03	25,08	18,74	22,32	51,05	-1,16	16,73	1,57	9,72	32,20	-21,60	-10,27	-2,16	-2,20
0,05	24,40	22,10	24,09	50,70	-1,75	16,80	4,41	7,78	32,21	-20,95	-1,73	0,22	-0,97
0,07	24,88	24,78	26,86	49,65	-0,57	17,36	4,00	6,87	32,80	-21,79	6,22	0,65	-0,83
0,1	27,68	25,06	24,03	56,52	1,09	18,59	3,92	9,61	32,98	-21,40	0,67	0,47	-0,36

0,2	30,07	28,87	27,97	52,12	1,36	21,44	4,26	11,90	32,31	-20,43	4,69	2,34	1,18
0,3	30,81	31,36	29,75	57,91	1,03	22,36	6,00	17,77	30,90	-19,84	3,94	4,07	2,03
0,5	29,38	36,19	28,23	52,56	2,07	24,71	16,76	23,72	30,01	-18,19	22,19	6,81	4,93
0,7	23,40	33,16	21,56	39,82	0,23	20,19	13,44	18,84	23,00	-16,83	12,56	6,28	4,81
0,9	27,06	35,22	26,27	45,54	0,93	22,34	15,83	14,96	26,93	-17,28	21,52	6,46	5,24
1	23,51	34,03	21,31	39,32	0,20	19,86	16,78	22,69	24,14	-16,07	14,34	7,63	5,67
2	13,18	21,70	11,79	21,70	-0,23	12,37	12,72	14,26	15,61	-11,75	17,45	5,63	4,39
3	8,71	13,96	7,87	14,46	-0,15	7,15	10,98	10,59	10,82	-9,16	9,98	3,53	2,45
4	5,42	8,84	3,76	9,51	-1,68	4,22	3,54	3,06	6,51	-8,72	5,91	0,97	0,14
5	6,42	11,03	6,20	11,28	0,99	6,79	8,29	8,99	9,01	-3,38	13,00	5,07	4,31
6	6,63	11,56	5,54	8,82	-0,28	7,39	11,03	7,80	9,88	-0,43	12,72	6,59	6,26
7	4,08	7,34	3,78	6,81	-0,04	4,52	6,17	5,34	6,07	-2,86	7,36	3,30	2,78
8	3,82	6,45	3,46	6,09	0,12	4,10	4,80	4,57	5,36	-2,70	4,81	2,97	2,45
9	3,49	6,82	2,97	5,66	-1,27	3,78	5,63	4,82	6,05	-1,37	6,24	3,25	3,62
10	3,01	4,68	2,82	5,31	0,03	2,91	3,28	2,56	3,73	-2,26	2,58	1,47	1,46
12	3,53	4,51	3,46	4,80	1,19	3,64	4,23	3,63	3,95	-1,60	5,57	2,59	2,19
14	5,57	6,21	5,58	7,42	1,56	5,17	4,02	6,34	5,37	1,42	4,37	3,13	3,87
16	10,45	9,70	10,54	12,09	6,73	9,73	7,20	8,57	8,86	6,01	9,65	5,87	7,27
18	18,68	17,40	19,01	20,31	8,35	16,19	11,39	16,54	14,03	12,17	12,88	7,96	13,16
20	24,69	22,63	24,68	27,02	12,82	22,22	15,67	22,63	19,13	17,93	20,51	12,38	18,71
30	23,73	17,84	23,58	27,24	15,73	20,16	12,19	19,54	10,96	9,47	14,87	8,27	12,41
50	23,85	15,23	23,72	27,47	17,87	19,00	8,39	17,84	3,89	-2,80	12,00	3,76	8,05
75	17,33	7,93	17,92	21,50	13,90	12,04	2,05	11,58	-4,67	-15,20	5,14	-2,96	0,53
100	8,42	-0,55	8,67	12,60	6,61	3,54	-6,20	1,04	-13,12	-24,92	-1,04	-10,64	-7,69
Média	14,90	13,63	14,12	29,29	-0,18	10,32	1,55	5,71	19,04	-14,24	2,00	-0,39	-0,75

Tabela B6 - Diferença percentual das doses absorvidas – JEFF-JENDL –PA

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	-4,04	37,72	-9,93	-6,39	-19,02	-0,28	11,52	2,46	71,70	-19,93	4,87	1,63	-0,39
1,00E-08	2,11	42,89	-1,24	-5,76	-17,87	2,14	14,03	-0,89	81,36	-18,52	1,46	5,41	2,96
1,00E-07	2,17	50,30	-1,18	1,98	-18,49	6,88	12,66	-5,90	84,17	-17,60	17,14	9,45	6,46
2,00E-07	4,05	54,65	2,92	4,24	-15,10	9,14	13,78	4,45	83,89	-17,31	12,28	10,64	7,23
5,00E-07	3,93	59,08	1,61	5,00	-14,98	10,48	20,02	2,28	82,55	-16,70	13,55	13,00	8,69
1,00E-06	3,28	60,25	3,36	0,78	-15,53	10,10	15,43	2,10	82,26	-17,09	20,68	11,97	9,25
2,00E-06	6,70	63,69	4,57	7,97	-14,00	13,21	21,57	3,05	81,72	-16,67	14,49	13,74	10,30
5,00E-06	6,74	64,47	5,09	8,41	-11,11	11,24	22,09	3,37	80,77	-17,05	27,39	14,58	11,01
1,00E-05	7,59	66,36	4,18	10,57	-15,25	15,39	22,88	9,40	80,22	-16,32	16,67	16,03	11,45
2,00E-05	9,56	65,58	8,39	7,60	-15,01	15,02	22,37	-1,48	78,66	-16,12	12,76	15,66	11,62
5,00E-05	8,50	71,68	4,64	7,38	-13,62	16,06	31,59	8,75	78,14	-16,48	27,38	17,95	12,66
0,0001	11,03	71,18	4,99	10,56	-14,34	15,51	27,32	1,71	77,04	-15,93	28,43	17,38	12,52
0,0002	9,55	72,27	9,51	10,10	-12,44	17,60	29,76	9,17	76,31	-15,96	29,68	18,37	13,07
0,0005	10,38	72,52	6,85	6,32	-13,39	18,19	28,21	15,72	76,40	-15,52	28,18	18,95	13,99
0,001	11,39	73,64	10,52	13,12	-13,14	19,02	26,47	11,71	75,96	-15,69	23,88	19,22	14,65
0,002	13,82	74,15	11,43	10,92	-11,53	19,01	30,60	15,25	74,97	-15,75	23,76	19,48	14,47
0,005	14,79	75,18	8,04	14,43	-12,32	21,52	37,32	22,16	73,57	-15,53	30,91	20,46	14,85
0,01	15,66	75,81	11,56	17,94	-9,92	21,15	36,09	10,86	71,45	-15,51	34,93	21,50	15,60
0,02	16,22	78,33	13,25	19,17	-14,85	20,63	34,18	18,33	68,15	-15,62	33,49	20,81	15,35
0,03	13,74	77,91	13,96	13,51	-12,02	23,32	35,21	14,78	66,17	-15,06	35,40	22,00	16,02
0,05	14,46	76,58	13,84	19,97	-10,16	23,13	35,92	18,91	61,03	-15,78	24,50	21,54	15,35
0,07	14,76	76,03	16,39	15,03	-12,93	24,89	40,11	19,21	57,62	-15,12	37,63	23,10	15,51
0,1	19,32	76,55	15,76	22,44	-9,57	25,19	38,83	26,35	53,28	-14,80	40,45	22,95	15,10

0,2	17,66	68,70	16,60	23,56	-11,13	25,40	39,33	18,48	42,01	-14,84	34,62	20,76	14,25
0,3	18,02	60,10	20,10	27,20	-11,30	26,60	35,08	21,87	35,82	-13,56	42,45	20,57	13,24
0,5	21,40	49,42	22,27	34,41	-6,58	27,81	35,07	26,76	28,21	-11,78	33,32	19,64	12,09
0,7	22,20	38,51	17,40	31,43	-10,88	22,27	24,45	26,17	23,01	-11,82	36,33	15,62	9,27
0,9	21,12	30,63	24,07	43,11	1,29	21,02	24,97	35,04	17,44	-10,26	28,78	12,92	7,62
1	21,49	31,98	19,90	35,36	-3,64	20,92	23,10	22,64	19,66	-10,16	25,33	13,77	8,25
2	13,72	15,80	13,54	28,41	-2,12	12,39	11,25	14,28	11,21	-7,44	17,02	7,01	4,17
3	9,23	10,73	8,57	17,72	-1,99	7,71	8,41	7,86	8,30	-5,68	10,84	4,13	2,85
4	5,99	7,35	4,32	11,74	-2,91	4,84	3,78	5,17	5,82	-5,17	8,47	1,98	1,37
5	7,64	6,99	8,07	13,19	1,51	6,44	6,65	7,96	5,09	-3,05	6,00	3,74	2,35
6	7,69	5,52	7,34	13,20	4,71	6,58	4,90	5,66	2,95	-3,30	3,78	3,31	1,23
7	4,63	4,13	4,37	10,25	1,12	4,16	3,76	3,29	2,81	-3,60	3,52	2,24	0,86
8	4,16	4,11	3,32	8,52	1,15	3,70	2,11	4,64	2,91	-2,97	0,87	2,04	0,86
9	4,98	3,82	4,78	8,60	2,67	3,62	3,29	4,57	2,20	-2,39	5,32	1,70	1,04
10	3,19	3,71	2,74	4,55	0,48	2,79	2,95	1,18	2,99	-1,57	3,40	1,53	1,28
12	3,33	3,63	3,19	5,62	1,46	3,19	3,09	4,53	2,93	-1,36	2,64	2,15	1,60
14	5,40	6,53	5,00	7,40	1,30	5,16	5,82	4,35	6,05	2,63	7,63	3,34	4,65
16	8,93	13,54	8,54	9,50	3,26	9,35	11,65	8,04	12,71	9,58	11,35	7,04	10,39
18	16,49	23,35	15,06	17,37	3,65	16,64	16,50	14,90	21,13	18,31	22,67	10,47	19,21
20	21,97	29,10	20,53	21,13	7,13	22,21	21,86	21,29	26,62	24,37	29,69	15,31	25,26
30	18,11	29,53	16,74	16,25	2,29	19,29	22,36	16,45	25,12	20,22	28,93	14,17	24,78
50	16,50	30,81	14,11	14,06	-0,61	18,33	22,00	16,93	22,69	10,62	33,36	12,10	24,38
75	9,31	24,08	7,66	7,42	-4,18	11,53	15,72	6,86	14,53	-2,43	24,26	5,13	17,31
100	0,70	14,56	-1,00	0,70	-10,50	2,96	6,77	-0,28	5,17	-13,19	15,97	-2,88	8,09
Média	10,63	43,69	9,06	13,32	-7,46	14,12	20,49	10,86	43,93	-8,83	20,77	12,20	10,30

Tabela B7 - Diferença percentual das doses absorvidas – ENDF-ICRP –AP

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	50,84	14,25	8,40	17,30	9,06	22,72	55,50	-32,71	-36,29	3,55	8,84	49,05	-2,90
1,00E-08	72,96	27,61	15,67	23,57	32,07	33,71	63,28	-18,32	-14,96	14,75	19,86	62,27	6,14
1,00E-07	39,73	12,18	-3,90	5,27	44,96	9,04	34,61	-17,78	5,32	5,55	-2,51	42,67	-7,69
2,00E-07	26,01	3,89	-6,95	-3,51	49,80	0,50	22,24	-8,98	7,34	0,87	-10,67	33,41	-12,00
5,00E-07	17,51	-5,43	-17,73	-6,59	45,92	-8,94	7,93	-17,47	9,57	-3,99	-8,23	22,76	-17,80
1,00E-06	8,64	-10,30	-19,54	-17,19	44,18	-11,64	4,90	-17,61	10,40	-8,33	-17,33	17,39	-21,93
2,00E-06	5,64	-13,18	-22,23	-17,17	42,09	-15,95	-0,16	-17,71	10,60	-11,01	-22,74	13,12	-23,79
5,00E-06	2,99	-14,13	-25,37	-21,29	45,02	-16,57	-6,48	-18,00	11,99	-12,23	-28,00	7,93	-25,67
1,00E-05	3,22	-12,76	-23,99	-19,84	48,23	-17,67	-9,04	-18,41	13,24	-10,95	-30,14	6,96	-25,55
2,00E-05	3,04	-13,04	-25,49	-19,40	49,98	-15,34	-7,28	-12,79	15,02	-10,93	-30,99	7,16	-25,74
5,00E-05	2,23	-10,21	-22,48	-16,76	58,94	-14,90	-8,73	-12,38	18,69	-8,59	-26,27	8,87	-24,41
0,0001	4,80	-10,15	-21,50	-14,87	63,45	-12,74	-9,82	-13,31	22,28	-5,85	-33,96	9,73	-22,77
0,0002	5,01	-9,98	-20,15	-14,29	70,92	-11,78	-4,34	-3,55	26,08	-3,58	-27,91	11,82	-21,60
0,0005	6,47	-9,92	-19,21	-12,83	78,10	-11,34	-11,45	-6,79	31,46	-1,74	-27,90	15,39	-19,97
0,001	2,90	-9,59	-18,20	-11,77	77,73	-11,12	-11,41	-3,30	33,77	-1,01	-30,61	19,16	-19,60
0,002	3,73	-9,41	-19,90	-13,18	76,54	-11,38	-14,49	-4,61	32,35	-0,89	-29,32	20,33	-19,43
0,005	2,39	-8,84	-18,97	-15,22	68,86	-10,05	-13,94	-8,35	17,37	-1,45	-32,80	21,11	-20,55
0,01	2,78	-8,18	-16,99	-12,23	56,44	-9,04	-12,47	-7,14	1,18	-2,50	-28,81	17,70	-22,17
0,02	7,79	-5,85	-16,67	-10,60	41,42	-5,33	-9,80	-10,43	-16,19	-4,03	-28,13	12,89	-23,40
0,03	6,82	-5,15	-14,21	-9,67	32,83	-6,21	-12,94	-9,88	-25,96	-4,55	-33,79	9,60	-24,58
0,05	11,28	-4,71	-15,29	-8,01	17,45	-5,05	-13,55	-19,64	-37,74	-6,39	-25,60	6,61	-26,28
0,07	10,57	-5,68	-15,59	-10,62	4,49	-6,99	-9,54	-29,20	-44,94	-10,06	-19,00	2,21	-28,87
0,1	12,40	-7,70	-17,18	-14,14	-10,33	-9,00	-12,04	-36,76	-51,94	-15,06	-25,87	0,11	-32,01

0,2	9,16	-22,15	-31,06	-24,82	-34,35	-19,25	-3,61	-54,15	-63,17	-28,75	-28,74	-5,21	-40,19
0,3	4,82	-34,84	-40,01	-34,37	-43,54	-29,78	-8,77	-62,19	-67,71	-37,59	-29,01	-7,47	-45,35
0,5	-0,73	-44,99	-46,40	-38,47	-45,61	-39,09	-16,51	-71,00	-69,75	-45,71	-29,81	-9,99	-50,45
0,7	-5,36	-50,56	-47,46	-39,63	-41,97	-42,44	-28,82	-74,09	-69,71	-53,72	-41,43	-15,72	-54,51
0,9	-21,81	-58,38	-55,92	-49,35	-46,22	-50,99	-40,85	-76,40	-73,22	-57,83	-47,35	-29,09	-60,69
1	-18,74	-56,70	-53,18	-45,35	-44,13	-48,65	-41,26	-74,46	-71,24	-57,83	-48,07	-26,80	-59,12
2	-7,10	-45,66	-38,23	-31,46	-19,54	-36,79	-41,33	-61,12	-59,41	-57,34	-45,34	-20,35	-50,66
3	-5,87	-39,18	-31,69	-25,08	-8,30	-30,80	-37,93	-50,23	-50,60	-56,31	-41,28	-16,02	-44,77
4	-6,11	-37,50	-28,99	-23,23	2,88	-28,62	-37,45	-44,09	-46,22	-56,60	-42,15	-17,18	-43,99
5	-4,15	-30,67	-24,65	-20,73	1,51	-24,12	-31,12	-35,19	-40,29	-53,47	-34,81	-12,28	-37,88
6	-4,02	-28,86	-22,47	-19,02	4,19	-22,56	-29,92	-32,45	-38,61	-53,21	-32,79	-11,84	-36,63
7	-3,00	-24,94	-20,38	-17,79	2,30	-20,80	-25,03	-29,30	-34,86	-50,84	-29,15	-8,93	-32,45
8	-5,05	-25,84	-20,66	-18,08	3,61	-21,77	-24,45	-29,35	-35,27	-49,97	-26,95	-9,55	-33,21
9	-5,34	-24,90	-20,17	-17,50	2,96	-21,45	-24,67	-29,34	-35,29	-49,60	-29,17	-10,09	-32,86
10	-4,38	-22,88	-17,95	-15,57	1,83	-19,97	-22,21	-27,27	-34,20	-48,34	-27,20	-9,01	-31,27
12	-1,38	-19,27	-15,13	-11,93	6,52	-16,73	-17,60	-23,79	-31,40	-46,11	-22,71	-6,08	-28,73
14	-0,55	-15,84	-13,24	-10,33	7,27	-14,41	-12,75	-21,50	-27,38	-43,51	-19,57	-2,74	-25,73
16	1,31	-12,78	-10,55	-7,69	10,54	-11,22	-9,14	-16,11	-23,06	-41,13	-16,55	0,72	-23,13
18	0,36	-11,01	-10,02	-7,52	13,71	-9,33	-5,89	-16,27	-18,72	-39,44	-13,84	4,41	-21,38
20	-0,25	-9,59	-9,28	-7,78	14,90	-8,11	-2,78	-13,74	-15,26	-38,05	-12,36	5,91	-20,54
30	1,27	-3,56	-3,57	-2,36	25,93	-1,11	4,27	-4,96	4,41	-34,27	-3,55	11,06	-15,90
50	4,28	4,32	5,71	5,01	52,48	9,70	11,50	14,47	39,95	-26,72	2,73	18,24	-10,37
75	11,83	15,08	19,22	17,31	87,71	22,17	14,53	35,51	74,25	-18,87	10,50	25,04	-3,20
100	20,71	25,66	33,84	31,66	122,41	33,16	18,07	60,26	94,02	-12,56	14,37	29,69	3,62
Média	5,74	-14,71	-18,29	-13,56	23,94	-12,72	-8,36	-23,02	-13,92	-24,60	-23,11	6,28	-26,85

Tabela B8 - Diferença percentual das doses absorvidas – ENDF-ICRP –PA

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	24,00	86,06	91,70	61,80	130,84	62,48	54,55	212,65	35,07	45,44	75,83	7,93	61,21
1,00E-08	38,57	97,02	109,44	71,01	194,75	71,66	66,31	293,90	78,10	63,79	103,16	21,22	70,47
1,00E-07	2,38	71,72	76,71	55,45	149,31	50,84	53,00	311,14	109,42	52,91	72,36	13,41	58,54
2,00E-07	-5,76	60,26	65,86	53,37	137,84	41,78	44,06	277,51	110,52	47,56	58,21	8,55	51,07
5,00E-07	-16,19	49,23	53,45	41,24	112,32	32,72	31,91	253,74	109,10	39,09	43,81	2,98	41,52
1,00E-06	-22,76	41,00	45,33	29,16	98,64	22,65	21,30	240,36	107,17	32,60	28,83	-1,91	35,05
2,00E-06	-24,61	34,02	37,51	22,70	90,06	20,30	16,51	234,84	105,66	29,26	14,47	-5,27	28,98
5,00E-06	-25,82	33,40	29,75	18,78	82,38	13,19	12,02	203,59	103,55	26,72	16,96	-7,67	24,23
1,00E-05	-27,62	33,01	26,27	16,67	75,90	12,21	10,27	179,48	104,90	25,97	13,22	-7,20	21,07
2,00E-05	-25,63	34,78	27,05	12,79	79,47	11,09	8,09	195,63	106,43	26,32	17,83	-7,60	20,07
5,00E-05	-25,95	35,79	23,88	16,97	76,68	10,80	10,57	173,38	109,43	27,43	22,40	-6,69	19,70
0,0001	-26,29	37,82	21,51	12,58	79,60	10,83	9,82	165,75	113,40	29,87	26,42	-4,80	20,12
0,0002	-27,79	38,59	28,01	17,61	80,49	12,58	7,07	157,95	119,64	31,49	21,74	-1,67	23,31
0,0005	-26,25	38,80	24,59	18,77	80,18	14,80	13,09	152,28	125,85	33,94	23,32	0,74	26,56
0,001	-26,12	37,71	28,96	15,33	80,99	17,82	12,25	156,43	129,59	35,81	19,72	1,27	28,37
0,002	-26,10	37,90	32,56	21,43	84,82	18,22	13,86	164,22	122,65	37,83	27,25	2,52	29,64
0,005	-26,39	35,82	28,39	20,14	86,86	20,20	13,58	169,05	98,39	39,23	31,66	2,32	27,76
0,01	-25,82	37,26	30,85	16,53	88,06	19,57	19,60	172,14	74,65	37,16	30,67	1,92	24,94
0,02	-23,75	40,87	30,93	20,74	89,74	21,61	15,95	174,36	44,17	32,64	34,08	-2,09	20,24
0,03	-21,42	43,51	32,10	21,61	96,82	24,12	21,61	172,00	30,98	28,83	29,11	-4,19	16,72
0,05	-20,67	39,84	31,56	18,65	93,84	22,68	20,40	169,98	14,87	22,50	22,00	-9,13	11,52
0,07	-20,01	37,68	32,47	21,22	97,07	21,20	22,62	193,41	5,30	16,59	30,02	-12,37	7,22
0,1	-18,92	32,46	33,88	26,56	96,62	19,70	21,87	195,33	-3,84	10,09	24,03	-17,56	3,08

0,2	-20,26	7,54	38,21	31,91	98,18	16,13	18,73	207,23	-17,13	-6,39	21,11	-28,42	-3,80
0,3	-24,26	-0,55	41,73	26,67	89,88	12,28	16,30	205,08	-22,26	-16,16	25,58	-34,39	-7,02
0,5	-29,84	-4,42	47,13	26,18	73,53	4,68	19,04	208,03	-22,31	-24,72	24,89	-37,86	-6,76
0,7	-33,04	-4,72	57,10	31,54	54,16	2,28	16,39	210,48	-21,79	-30,12	24,54	-37,68	-6,90
0,9	-44,45	-14,80	35,13	11,79	24,77	-15,05	-0,61	158,54	-22,37	-41,02	10,13	-44,94	-14,84
1	-43,47	-15,35	42,69	19,56	27,81	-12,12	5,11	171,61	-25,16	-39,79	6,12	-43,32	-15,95
2	-37,07	-5,90	25,33	13,67	22,58	-7,13	26,33	125,16	-9,39	-39,74	7,82	-32,40	-8,91
3	-32,37	-5,47	16,56	9,32	25,37	-6,74	26,44	84,16	-2,26	-40,63	3,64	-27,66	-9,42
4	-33,45	-3,65	5,48	-0,72	16,19	-8,53	25,84	67,42	4,38	-39,54	1,38	-24,60	-9,46
5	-25,73	-2,99	10,47	5,38	25,66	-4,19	23,82	67,46	3,23	-39,32	4,43	-20,45	-8,93
6	-24,45	-2,17	9,62	5,21	22,03	-3,58	21,96	64,75	3,79	-38,69	5,66	-17,38	-7,92
7	-20,75	-2,53	11,34	6,81	25,69	-2,68	18,53	61,64	0,89	-38,87	5,36	-15,21	-8,26
8	-23,19	-4,16	6,66	0,80	22,46	-5,10	14,50	55,29	-1,16	-38,02	4,22	-14,32	-9,94
9	-22,31	-3,66	4,70	-0,03	18,24	-5,65	11,10	51,70	-1,89	-37,11	2,14	-13,67	-9,60
10	-19,84	-1,94	5,90	1,55	17,33	-4,71	11,31	55,24	-1,80	-35,71	4,98	-11,87	-8,12
12	-16,91	0,89	5,95	0,34	17,23	-2,92	11,06	53,38	0,65	-33,11	5,75	-8,14	-5,69
14	-14,73	0,98	7,19	1,88	20,13	-2,10	10,26	49,49	1,25	-32,23	7,37	-5,53	-5,41
16	-11,73	2,34	8,86	3,20	22,48	0,20	9,58	49,48	4,20	-30,45	6,33	-2,39	-3,82
18	-11,20	1,11	8,99	4,28	26,58	0,55	10,19	44,17	5,45	-30,40	1,68	0,12	-4,75
20	-10,56	1,73	8,57	4,30	26,63	1,07	9,23	39,44	8,52	-29,52	0,37	1,37	-4,65
30	-6,69	5,49	7,90	8,85	27,21	5,37	11,24	22,92	26,12	-27,49	2,02	7,75	-2,32
50	-1,93	13,50	7,07	11,31	28,75	12,27	16,49	7,71	61,23	-19,93	8,42	19,55	1,41
75	6,46	25,94	7,59	11,19	31,13	19,31	23,63	0,40	96,31	-9,65	20,22	32,07	7,27
100	15,44	38,87	8,83	9,08	34,47	25,48	29,20	0,22	115,89	-0,15	31,28	42,10	12,71
Média	-18,84	22,57	29,19	18,62	65,57	12,60	19,28	142,13	45,52	1,16	21,76	-7,29	11,28

Tabela B9 - Diferença percentual das doses efetivas – AP

Energia (MeV)	Diferença percentual (%)		
	ENDF-JEFF	ENDF-JENDL	JEFF-JENDL
1,00E-09	1,31	8,69	7,28
1,00E-08	1,05	6,67	5,57
1,00E-07	-0,78	2,27	3,08
2,00E-07	0,44	1,04	0,60
5,00E-07	1,34	1,00	-0,34
1,00E-06	-0,19	-0,19	0,00
2,00E-06	-0,05	-1,18	-1,13
5,00E-06	-0,95	-4,53	-3,61
1,00E-05	-0,70	-2,76	-2,07
2,00E-05	-1,16	-4,41	-3,29
5,00E-05	-0,55	-4,46	-3,94
0,0001	-1,92	-6,84	-5,02
0,0002	2,28	-4,76	-6,88
0,0005	0,63	-6,21	-6,80
0,001	1,31	-9,28	-10,45
0,002	-0,05	-9,59	-9,54
0,005	0,26	-10,35	-10,58
0,01	1,50	-10,77	-12,08
0,02	2,11	-10,02	-11,88
0,03	-1,05	-11,57	-10,63
0,05	0,96	-11,52	-12,36
0,07	1,53	-12,53	-13,84
0,1	-0,87	-14,43	-13,68
0,2	-0,71	-15,90	-15,30

0,3	-0,81	-16,91	-16,23
0,5	1,41	-17,69	-18,84
0,7	0,16	-15,06	-15,20
0,9	0,12	-17,23	-17,33
1	-0,52	-16,14	-15,70
2	0,33	-10,78	-11,07
3	-0,06	-7,62	-7,56
4	-0,15	-4,23	-4,09
5	0,25	-6,98	-7,21
6	0,07	-7,21	-7,28
7	0,13	-4,50	-4,62
8	0,03	-3,84	-3,87
9	-0,21	-4,24	-4,03
10	-0,10	-2,78	-2,69
12	0,09	-3,55	-3,64
14	-0,21	-4,83	-4,63
16	0,08	-8,30	-8,37
18	-0,11	-13,03	-12,93
20	0,02	-17,12	-17,13
30	0,62	-14,47	-15,00
50	5,23	-9,00	-13,53
75	8,96	-0,07	-8,28
100	9,54	8,57	-0,88
Média	0,651	-6,992	-7,596

Tabela B10 - Diferença percentual das doses efetivas – PA

Energia MeV	Diferença percentual (%)		
	ENDF-JEFF	ENDF-JENDL	JEFF-JENDL
1,00E-09	1,01	-5,18	-6,13
1,00E-08	-0,37	-8,45	-8,11
1,00E-07	1,04	-11,82	-12,73
2,00E-07	1,12	-12,61	-13,57
5,00E-07	1,17	-13,67	-14,67
1,00E-06	0,21	-15,44	-15,61
2,00E-06	-0,63	-16,60	-16,08
5,00E-06	1,17	-17,36	-18,32
1,00E-05	-1,60	-18,62	-17,30
2,00E-05	-0,88	-17,18	-16,45
5,00E-05	1,13	-19,07	-19,97
0,0001	1,93	-18,32	-19,86
0,0002	0,60	-20,41	-20,89
0,0005	-0,34	-20,96	-20,69
0,001	-0,41	-20,83	-20,50
0,002	-0,14	-21,03	-20,92
0,005	0,94	-21,75	-22,48
0,01	1,46	-22,12	-23,25
0,02	1,59	-22,10	-23,32
0,03	1,51	-22,35	-23,51
0,05	-3,09	-24,47	-22,07
0,07	0,92	-23,52	-24,22
0,1	0,34	-25,00	-25,25
0,2	-1,84	-24,82	-23,41

0,3	0,30	-23,77	-24,00
0,5	0,23	-22,32	-22,50
0,7	0,17	-20,28	-20,41
0,9	0,57	-18,58	-19,04
1	-0,44	-18,35	-17,99
2	0,40	-11,16	-11,51
3	-0,06	-7,81	-7,75
4	-0,18	-5,35	-5,18
5	0,12	-5,75	-5,87
6	-0,03	-5,01	-4,98
7	-0,16	-3,70	-3,55
8	-0,12	-2,81	-2,69
9	-0,27	-4,18	-3,92
10	-0,16	-2,84	-2,68
12	-0,18	-3,08	-2,91
14	0,00	-5,30	-5,30
16	0,00	-8,96	-8,96
18	-0,15	-14,97	-14,85
20	0,06	-18,71	-18,75
30	0,73	-16,74	-17,34
50	6,92	-11,44	-17,18
75	9,89	-3,10	-11,83
100	10,52	5,24	-4,78
Média	0,744	-14,312	-14,963

VIII. APÊNDICE C – Diferenças Percentuais - REX

Tabela C1 - Diferença percentual das doses absorvidas – ENDF-JENDL –AP

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	-12,27	-10,93	-7,85	-11,67	-6,16	-9,07	-17,87	-7,87	8,64	-26,07	-15,84	-14,80	-18,64
1,00E-08	-9,37	-9,77	-4,46	-15,48	1,14	-7,61	-20,13	-14,84	10,68	-26,04	-10,44	-14,46	-18,51
1,00E-07	-7,62	-5,76	-1,90	-15,46	3,58	-4,05	-14,87	-16,90	15,14	-25,28	-11,56	-12,35	-17,15
2,00E-07	-7,82	-5,30	-0,47	-11,88	2,04	-2,81	-16,64	-7,09	17,28	-24,53	-12,01	-10,74	-16,13
5,00E-07	-5,80	-2,96	0,67	-9,74	13,01	-1,04	-16,73	-11,12	18,74	-24,09	-6,12	-8,72	-15,22
1,00E-06	-6,31	-0,84	3,07	-6,79	6,84	-0,95	-17,13	-6,88	19,08	-24,08	-6,42	-8,86	-15,25
2,00E-06	-4,56	-0,58	0,53	-8,06	9,58	-0,73	-16,06	-12,50	20,24	-24,06	-6,84	-7,43	-14,66
5,00E-06	-4,78	-1,53	5,39	-7,16	12,40	0,45	-11,66	-9,66	21,69	-24,12	-1,31	-8,04	-14,14
1,00E-05	-3,15	1,92	5,87	-8,76	9,37	1,91	-13,71	-7,69	22,16	-24,24	-5,52	-6,84	-14,02
2,00E-05	-1,81	1,83	3,88	-9,59	13,05	1,16	-15,33	-9,24	22,06	-24,07	-0,01	-6,46	-13,54
5,00E-05	-0,98	3,70	9,20	-4,80	14,24	4,55	-12,02	-5,62	23,47	-24,44	-1,41	-5,64	-13,03
0,0001	1,15	4,97	9,03	-4,53	12,19	5,50	-10,56	-5,22	24,37	-23,62	-2,46	-4,47	-11,96
0,0002	0,61	4,12	8,17	-3,81	13,13	5,51	-14,20	-2,66	24,62	-23,79	0,47	-4,48	-12,14
0,0005	0,34	5,28	10,04	-3,98	13,27	4,97	-8,45	-1,46	25,07	-23,20	7,09	-3,79	-11,51
0,001	1,94	6,81	9,79	-0,41	15,09	6,98	-12,90	-0,14	25,26	-23,71	3,48	-3,98	-11,28
0,002	1,34	9,36	13,91	-3,49	17,51	8,01	-9,06	-5,19	26,11	-23,20	3,22	-2,37	-10,86
0,005	3,20	9,27	10,11	0,60	11,97	8,70	-10,29	-2,86	26,50	-22,76	4,95	-2,36	-10,03
0,01	3,63	11,05	14,20	2,34	15,80	11,42	-11,18	-5,40	27,50	-23,08	0,48	-1,92	-9,83
0,02	4,65	13,86	14,75	3,73	16,66	10,59	-3,95	-2,08	27,90	-22,70	4,10	-1,30	-9,40
0,03	5,29	11,97	15,52	1,14	14,77	12,78	-4,04	-2,26	27,46	-23,31	8,08	-1,30	-9,30
0,05	6,23	13,63	15,56	8,05	19,53	13,02	-4,58	2,76	28,43	-22,16	9,88	-0,29	-8,14

0,07	7,13	15,37	17,00	3,67	17,49	12,58	-8,67	0,07	27,81	-22,39	8,13	0,12	-8,43
0,1	7,56	15,59	15,41	7,08	13,25	13,74	-4,44	0,57	28,48	-21,80	10,35	1,28	-7,07
0,2	12,18	20,41	20,24	9,72	13,85	14,79	-2,13	0,05	28,03	-21,49	17,11	2,89	-5,88
0,3	11,53	23,12	20,44	8,48	12,37	16,96	3,89	9,58	27,22	-21,19	19,86	4,28	-4,84
0,5	16,74	26,43	19,71	21,58	8,63	20,10	4,19	11,99	26,03	-19,84	16,05	7,25	-1,56
0,7	15,79	27,87	19,09	23,49	7,06	16,70	6,35	20,59	20,90	-18,00	19,71	8,16	-0,35
0,9	16,37	27,47	21,80	26,04	4,32	19,13	7,01	15,04	23,60	-19,06	13,23	8,02	-0,88
1	18,79	28,57	20,71	24,42	5,06	17,41	9,83	23,95	22,01	-18,07	19,13	8,69	0,18
2	12,78	20,07	13,74	23,48	2,41	10,77	11,28	13,27	14,55	-13,25	12,14	8,04	2,10
3	8,69	13,79	8,51	17,38	1,35	7,52	6,75	9,83	10,05	-11,20	9,43	5,84	0,88
4	4,79	8,53	4,91	13,29	-0,74	4,19	5,45	4,45	6,52	-10,51	4,94	3,04	-0,94
5	8,62	12,13	7,52	14,40	2,53	7,72	8,93	7,31	9,58	-4,50	6,95	7,62	4,39
6	9,12	12,71	7,11	15,82	0,77	8,64	9,85	14,34	10,65	-0,89	7,67	9,89	7,11
7	5,06	8,23	4,07	9,40	1,04	4,67	6,41	6,60	6,24	-4,17	5,61	5,02	2,55
8	4,31	7,14	3,44	8,52	0,62	4,36	4,81	3,60	5,82	-3,74	4,00	4,22	2,44
9	5,72	8,22	4,96	10,05	-0,68	4,74	8,24	5,80	6,59	-2,22	3,14	5,69	4,19
10	3,46	5,22	3,32	6,81	0,68	3,38	3,52	3,17	4,08	-3,95	1,10	2,95	1,48
12	3,72	5,04	3,64	6,45	1,55	3,39	4,60	3,05	4,37	-3,51	2,16	3,42	2,19
14	5,64	6,41	5,69	7,47	1,38	4,70	3,27	5,48	5,48	-1,07	4,64	3,55	3,45
16	8,04	9,84	9,05	9,61	6,45	8,32	5,38	10,16	8,43	2,47	8,02	5,19	6,08
18	14,80	16,52	16,61	15,95	9,13	15,15	12,97	13,62	12,84	7,46	16,72	7,02	10,99
20	20,30	21,37	23,21	20,51	11,23	20,20	13,69	20,85	17,66	12,42	22,62	11,06	16,09
30	17,37	16,04	20,35	15,09	13,34	17,28	11,04	16,11	10,94	6,06	18,31	6,07	10,44
50	10,98	7,38	14,61	8,38	9,07	10,28	2,20	7,82	0,16	-8,30	15,92	-3,38	1,09
75	1,49	-2,27	5,18	-0,50	1,92	0,66	-6,48	-1,15	-10,67	-21,58	6,64	-13,20	-9,03
100	-6,28	-10,47	-3,04	-7,36	-5,86	-7,67	-13,60	-10,23	-18,70	-30,70	-0,83	-20,55	-16,77
Média	4,44	8,74	9,41	4,46	7,81	7,00	-3,13	1,74	16,41	-16,08	4,99	-0,82	-5,42

Tabela C2 - Diferença percentual das doses absorvidas – ENDF-JENDL –PA

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	-17,10	9,10	-16,79	-12,60	-11,68	-9,70	-4,13	-9,58	53,35	-21,48	-20,66	-3,10	-6,50
1,00E-08	-17,08	13,11	-10,43	-12,04	-21,38	-10,34	-3,52	-5,84	58,99	-20,47	-14,45	0,03	-4,66
1,00E-07	-11,70	19,38	-11,58	-9,45	-8,34	-5,58	-4,96	-16,85	67,09	-19,08	-14,50	3,06	-0,78
2,00E-07	-9,75	22,40	-9,85	-6,73	-10,31	-3,21	-3,48	-15,91	68,51	-18,50	-17,38	5,12	0,04
5,00E-07	-11,96	24,80	-11,16	-7,74	-17,24	-2,24	-0,78	-12,72	69,48	-18,55	-12,56	6,05	1,42
1,00E-06	-9,92	25,83	-9,56	-6,22	-20,08	-3,09	1,52	-8,22	70,27	-18,40	-10,53	7,53	2,31
2,00E-06	-9,86	28,34	-7,93	-6,19	-13,51	-0,64	2,79	-8,86	70,81	-18,01	-14,36	9,14	3,15
5,00E-06	-10,52	29,75	-9,57	-6,22	-12,59	0,90	6,25	-10,26	71,18	-17,70	-9,71	9,69	3,94
1,00E-05	-8,82	32,50	-7,81	-3,96	-17,56	2,33	1,42	-15,46	71,71	-17,18	-10,31	11,07	4,83
2,00E-05	-8,42	32,91	-8,51	-8,33	-18,99	0,98	5,23	-7,79	71,73	-17,48	-13,34	11,14	5,28
5,00E-05	-7,59	35,03	-6,27	-7,28	-11,38	2,74	2,24	-10,41	71,88	-16,97	-15,33	12,97	5,67
0,0001	-5,35	35,65	-7,07	-6,13	-18,91	3,46	6,42	-5,55	71,60	-17,03	-6,54	13,58	6,23
0,0002	-6,85	36,63	-4,11	-3,70	-11,04	3,66	8,03	-12,24	71,10	-16,97	-8,40	15,05	6,87
0,0005	-5,86	40,56	-7,18	3,70	-17,07	4,23	7,78	-8,26	71,04	-16,87	-14,43	15,74	7,49
0,001	-7,35	41,92	-5,83	-3,35	-4,37	5,58	7,13	-8,64	71,06	-16,24	-9,46	16,52	8,37
0,002	-5,45	41,47	-5,10	-2,58	-12,41	4,03	8,59	-2,78	70,63	-15,97	-13,15	17,07	8,41
0,005	-4,75	42,85	-7,67	0,75	-18,07	5,79	9,54	-7,12	70,16	-16,05	-1,90	18,52	9,22
0,01	-5,79	43,22	-5,94	1,56	-19,60	6,85	11,52	-0,96	68,71	-16,12	-14,62	18,34	9,41
0,02	-3,34	47,09	-2,62	-1,25	-3,78	7,84	11,37	-7,76	67,45	-15,93	-6,34	19,94	9,94
0,03	-4,20	46,32	-6,19	1,38	-21,40	6,90	15,50	-8,36	65,63	-16,29	-8,96	19,60	10,06
0,05	-3,79	47,22	-2,11	7,86	-20,89	8,79	9,61	-4,40	62,59	-15,87	-3,06	20,52	10,63
0,07	-0,17	50,39	-6,45	8,20	-9,63	10,31	14,40	-5,82	59,37	-15,55	-0,63	22,44	10,64
0,1	-1,62	48,69	-3,73	3,54	-13,95	11,17	12,23	-6,96	56,48	-15,10	-6,27	21,54	11,08

0,2	0,17	51,60	1,64	4,13	-11,49	13,11	16,09	1,18	46,26	-14,75	-5,98	23,20	10,97
0,3	-1,06	49,81	1,10	8,68	-18,17	14,91	19,11	3,18	39,28	-14,60	0,46	23,14	10,32
0,5	6,97	47,75	7,22	18,40	-14,23	15,93	22,16	6,61	31,17	-12,63	-2,95	24,49	10,31
0,7	8,08	35,29	7,01	21,02	-6,91	16,05	23,48	7,83	19,23	-11,01	4,81	19,43	6,69
0,9	6,64	42,22	8,80	17,56	-7,61	17,68	24,48	11,54	25,22	-11,55	-1,51	22,18	8,58
1	9,30	37,37	7,13	25,47	-2,17	17,03	20,63	13,78	21,27	-11,30	14,62	20,08	7,30
2	11,43	19,25	9,54	22,25	-0,08	11,79	13,62	17,84	11,97	-7,95	12,50	11,70	3,86
3	9,15	13,45	8,56	19,73	-1,02	8,42	10,71	11,06	8,58	-6,49	6,83	7,59	2,37
4	7,03	8,51	4,13	13,67	-2,16	3,68	5,60	4,64	5,88	-5,91	1,55	4,26	0,89
5	9,58	9,65	9,31	16,81	4,69	7,85	8,41	10,67	6,04	-3,98	12,03	6,74	2,87
6	11,93	9,66	11,78	16,11	12,50	9,39	7,96	8,85	4,40	-3,28	10,23	6,95	2,63
7	6,50	6,44	5,61	9,93	1,97	5,08	4,29	5,87	3,93	-3,96	6,07	4,03	1,46
8	5,05	5,85	5,30	11,36	3,29	4,72	3,98	6,32	3,80	-3,44	3,11	3,61	1,41
9	7,70	6,49	7,38	9,08	6,62	5,79	4,53	7,53	3,19	-3,45	6,93	3,82	1,85
10	3,05	4,99	3,38	7,81	0,60	3,27	3,34	4,52	3,40	-3,20	4,64	2,58	1,41
12	3,98	4,59	3,77	7,08	2,11	3,83	4,11	3,71	3,41	-3,28	6,08	3,15	1,85
14	5,12	6,84	5,11	8,85	2,25	5,11	5,89	5,57	6,12	0,47	6,20	4,07	4,40
16	5,56	11,85	5,71	8,81	3,42	7,54	7,71	8,49	11,93	6,52	5,06	6,84	9,32
18	11,28	20,16	9,76	14,37	0,91	13,07	11,99	13,51	19,40	14,26	12,89	10,50	17,04
20	16,55	25,24	15,30	20,19	2,19	18,60	17,78	19,14	24,82	19,94	18,71	14,98	22,73
30	11,43	21,09	9,18	14,37	-6,96	14,55	14,51	13,54	21,02	15,85	12,74	12,12	19,68
50	3,39	14,63	1,35	7,14	-15,84	6,10	7,27	7,92	12,72	2,80	5,96	4,40	12,57
75	-5,89	4,39	-8,54	-1,84	-25,09	-3,68	-1,39	-2,37	2,19	-10,92	-2,94	-5,00	2,77
100	-14,04	-4,08	-16,97	-9,47	-32,24	-11,33	-8,63	-9,04	-6,19	-20,86	-10,94	-12,50	-5,42
Média	-0,82	26,56	-1,08	4,57	-9,31	5,52	7,92	-0,40	40,00	-10,44	-2,55	10,93	5,98

Tabela C3 - Diferença percentual das doses absorvidas – ENDF-JEFF –AP

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	-2,71	0,83	-0,58	3,01	4,35	-3,31	-3,57	4,22	0,18	-0,07	1,16	-1,13	-0,24
1,00E-08	-1,45	-0,13	-3,42	-1,99	-1,75	-2,96	-2,64	-2,87	0,61	-0,40	-1,90	-0,92	-0,23
1,00E-07	1,10	0,63	0,64	-0,23	-0,53	-0,96	1,36	1,71	-0,92	-0,23	-3,83	-0,55	-0,63
2,00E-07	-2,23	-1,85	-2,19	3,46	-1,02	0,62	-8,13	-0,48	-0,22	0,26	2,04	-0,42	-0,21
5,00E-07	-1,42	0,81	0,65	-0,17	2,20	1,72	-3,06	7,08	0,52	0,59	0,65	0,68	-0,15
1,00E-06	-0,81	0,30	-0,54	-0,58	0,27	-1,22	-1,91	5,84	0,03	0,68	3,38	-0,06	-0,13
2,00E-06	0,21	1,02	0,50	0,93	-3,56	0,17	1,96	2,84	0,17	0,40	-4,31	0,83	-0,07
5,00E-06	0,25	0,60	4,77	1,22	0,52	-0,23	3,86	-4,22	0,51	-0,19	2,01	-0,11	-0,22
1,00E-05	-0,77	-0,40	-0,63	-1,37	-1,09	0,25	-1,89	5,33	0,28	-0,46	-3,49	-0,73	-0,40
2,00E-05	1,81	0,29	1,27	-0,38	2,98	-2,15	-5,30	0,44	-0,02	-0,02	2,42	0,42	-0,13
5,00E-05	2,18	-0,07	0,46	-1,62	10,43	2,07	-1,50	2,17	0,04	-0,29	-0,91	0,66	-0,05
0,0001	-0,75	0,84	3,33	0,55	-1,19	0,94	-5,82	2,53	-0,47	-0,97	-0,03	-1,06	-0,15
0,0002	0,62	-0,70	-1,69	0,08	3,91	0,89	-1,56	-0,94	-0,37	-0,40	-4,90	0,14	-0,38
0,0005	-2,09	-1,53	-1,63	-1,83	-1,43	-1,62	0,43	-0,97	0,16	-0,21	2,74	-0,27	-0,39
0,001	0,46	-1,90	-0,29	-1,92	-2,31	-0,12	-3,80	7,71	-0,54	-0,95	-4,32	-1,45	-0,05
0,002	-0,66	-0,22	0,22	-2,69	-1,95	-0,16	-2,43	-1,59	-0,34	-0,40	2,14	0,31	-0,31
0,005	0,30	-0,03	-0,77	0,82	-2,68	0,07	-1,24	-4,12	-0,14	0,01	3,63	-0,50	0,41
0,01	0,97	-0,70	-0,47	-0,68	4,34	1,27	-0,32	-3,12	0,08	0,16	-0,13	0,53	-0,15
0,02	-0,82	-1,11	-1,12	1,72	-0,38	-0,22	4,04	-0,35	-0,64	-0,68	-3,45	-0,15	-0,66
0,03	-0,40	0,58	-0,35	-1,60	-0,61	2,74	4,38	-1,65	0,11	-0,11	0,33	-0,65	-0,20
0,05	-0,69	-0,81	2,14	3,83	3,14	0,96	-2,36	0,21	-0,21	0,57	-0,82	-0,46	-0,05
0,07	0,28	-0,64	-2,22	-0,87	3,38	0,63	-4,55	1,70	-0,65	-0,10	1,42	-0,76	-0,46
0,1	0,56	-0,82	-1,64	-0,94	3,36	0,21	-0,56	-6,84	0,32	-0,22	2,39	-0,44	0,25

0,2	-0,34	-0,49	-0,24	-0,94	0,36	0,79	-4,80	-5,24	0,19	0,31	1,32	0,06	0,11
0,3	-0,55	1,57	-0,38	-1,79	1,27	1,28	0,89	-5,67	0,02	0,03	2,74	0,21	0,10
0,5	-0,09	-0,20	0,01	1,00	0,06	0,11	-1,86	-0,37	0,01	-0,42	0,61	0,13	0,38
0,7	-0,48	0,57	-0,83	-0,12	-0,73	-0,95	-3,76	2,09	0,21	-0,17	0,14	-0,10	-0,26
0,9	-0,82	-1,35	-0,92	-0,33	-0,27	-0,19	0,53	-5,10	-0,01	-0,96	-4,77	-0,75	-0,42
1	0,90	0,27	0,37	-0,31	-0,09	1,02	-0,01	1,04	0,14	-0,03	-0,20	-0,01	0,07
2	0,16	-0,68	0,32	-0,46	-0,21	-0,13	-0,09	-1,03	-0,25	-0,16	-0,03	-0,65	-0,31
3	-0,69	-0,04	0,03	-0,37	-0,24	0,00	-0,18	-1,87	-0,17	-0,33	1,05	-0,13	-0,30
4	-0,24	0,17	0,28	-0,98	0,22	0,08	1,27	-1,39	0,09	-0,01	0,67	-0,06	0,06
5	0,68	0,41	0,13	-0,44	0,81	0,41	-1,02	-0,20	0,16	-0,53	-0,17	-0,02	0,09
6	0,05	0,11	0,21	-0,62	0,28	0,15	0,21	1,43	0,09	-0,63	0,18	0,02	0,05
7	0,01	-0,22	-0,38	-0,11	-0,07	0,05	-1,79	-0,15	-0,26	-1,09	0,38	-0,55	-0,33
8	-0,28	0,03	-0,20	0,35	0,54	0,01	-0,03	-0,65	-0,04	-0,82	-0,56	-0,37	-0,12
9	0,10	0,05	0,66	0,62	0,08	0,17	0,39	-0,41	0,13	-1,04	-0,78	-0,18	0,04
10	0,00	0,08	0,23	-0,27	0,15	0,14	0,14	-1,25	0,03	-1,34	-0,33	-0,12	0,04
12	-0,06	0,06	0,33	0,07	0,16	0,06	-0,44	-0,35	0,07	-1,58	-0,30	-0,13	0,05
14	0,10	-0,09	0,22	0,18	0,17	0,14	-0,23	-0,68	0,13	-1,69	-0,03	-0,24	0,06
16	0,18	0,11	-0,04	0,17	0,22	0,10	0,14	-0,48	0,11	-1,67	0,09	-0,16	0,09
18	0,02	0,04	0,12	-0,25	0,20	-0,09	-0,20	-0,11	0,03	-1,83	0,47	-0,21	0,07
20	0,08	0,03	-0,13	-0,11	0,11	-0,09	-0,48	-0,50	0,02	-1,98	0,04	-0,28	0,00
30	0,48	1,05	-0,03	1,14	-3,31	0,13	2,29	-0,65	2,91	2,27	-1,71	2,36	2,66
50	-3,94	-3,68	-4,12	-3,90	-8,47	-4,21	-3,00	-2,58	1,05	1,76	-6,06	-0,52	-0,21
75	-7,03	-6,52	-7,51	-7,06	-11,24	-7,43	-4,72	-6,91	-0,88	0,68	-9,71	-3,40	-2,87
100	-7,25	-7,00	-7,72	-6,32	-12,42	-7,90	-4,96	-9,06	-0,85	0,77	-8,90	-3,73	-2,89
Média	-0,53	-0,44	-0,49	-0,47	-0,26	-0,36	-1,20	-0,54	0,03	-0,29	-0,63	-0,32	-0,18

Tabela C4 - Diferença percentual das doses absorvidas – ENDF-JEFF –PA

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	2,51	0,87	0,74	0,89	-0,11	2,77	-1,82	20,64	0,39	0,03	-0,34	-0,04	0,84
1,00E-08	-0,79	-0,48	6,06	-8,68	5,98	-1,00	3,65	-0,91	0,00	-0,96	-8,05	0,04	-0,44
1,00E-07	-0,12	0,10	3,02	-0,65	6,21	-1,60	0,62	-8,22	-0,42	0,27	11,22	-0,01	0,10
2,00E-07	1,75	-1,00	0,07	-0,15	2,42	0,81	-2,31	-4,66	-0,09	-0,33	0,93	-0,08	-0,06
5,00E-07	-1,32	0,40	1,83	-4,05	-7,24	0,17	0,32	-6,09	-0,29	-0,68	7,79	-0,86	-0,52
1,00E-06	1,06	-0,37	1,86	-1,02	-1,27	-0,12	6,51	4,36	-0,65	-0,55	1,64	0,11	-0,31
2,00E-06	0,79	0,12	4,35	0,55	9,63	0,61	0,66	-3,97	0,12	-0,32	-0,70	0,69	-0,24
5,00E-06	0,61	-0,74	1,48	-3,46	12,83	0,35	0,99	12,96	-0,01	-0,39	5,92	-0,07	-0,23
1,00E-05	1,38	-0,14	2,92	2,34	5,45	0,37	-1,61	-7,95	0,26	-0,04	2,96	0,64	0,12
2,00E-05	-2,40	-0,88	-1,60	-0,11	-2,30	-1,04	0,86	1,61	-0,03	-0,34	-3,46	-0,38	0,08
5,00E-05	0,09	-0,61	0,27	-2,39	6,81	-0,96	-1,61	-6,65	0,47	0,47	1,67	0,32	-0,09
0,0001	1,66	0,45	3,13	-3,52	-3,19	0,18	4,33	3,84	0,14	-0,01	0,72	0,44	-0,30
0,0002	2,82	-0,17	-0,42	2,26	-3,43	0,51	4,54	1,91	-0,09	-0,32	-3,37	-0,26	0,12
0,0005	0,66	-0,58	-2,42	-0,67	-5,99	0,39	-2,52	5,48	-0,06	-0,36	1,01	-0,30	0,01
0,001	-2,59	0,04	0,82	-0,97	11,74	0,09	4,64	-0,76	-0,03	-0,38	-3,39	-0,66	-0,04
0,002	0,75	-0,89	1,29	-2,85	7,40	-1,90	0,85	1,50	-0,38	-0,22	2,49	-0,80	-0,33
0,005	-0,69	-0,07	-2,23	1,44	3,90	0,12	-0,67	-7,50	0,01	-0,18	-4,05	0,04	0,33
0,01	-0,49	0,41	-1,72	1,11	2,24	-1,63	1,88	0,97	-0,10	0,05	-2,59	0,42	0,30
0,02	1,01	0,21	1,59	-3,56	6,74	-0,82	-0,39	-9,49	-0,18	-0,73	-0,24	-0,48	0,03
0,03	-1,07	0,82	-2,68	1,18	1,95	-0,09	3,69	-3,92	0,10	0,04	3,76	0,15	0,21
0,05	-0,73	0,44	1,84	-0,04	0,20	1,97	-3,25	0,64	0,09	0,09	-2,43	-0,57	0,19
0,07	-0,63	0,89	-3,62	4,61	-3,35	0,23	-0,48	-4,37	-0,04	0,29	1,26	0,68	0,29
0,1	-3,39	-1,39	-4,15	-4,37	6,13	-0,25	1,05	-1,50	0,08	0,39	2,18	-0,19	-0,02

0,2	0,76	0,61	1,78	-3,45	-6,23	1,19	-1,87	-3,15	-0,38	0,28	-9,80	0,46	0,13
0,3	-0,77	0,57	-0,75	0,65	-1,04	0,14	4,76	2,45	0,08	-0,26	-6,56	-0,28	0,16
0,5	1,34	0,30	1,29	4,05	-3,88	-0,58	-0,37	-1,43	0,25	0,21	-0,81	0,88	0,33
0,7	1,07	-0,44	-1,07	0,27	-1,12	-1,31	1,94	-7,02	-0,08	-0,39	2,43	-0,29	-0,26
0,9	-0,86	0,19	1,51	2,95	0,89	-0,37	2,42	-1,08	-0,06	-0,16	-8,30	-0,31	-0,09
1	1,32	-0,56	-0,89	2,48	5,20	-0,75	0,07	2,32	0,05	-0,21	3,17	-0,22	-0,03
2	-0,56	-0,36	0,05	-0,90	-1,42	-0,16	-1,65	4,71	0,14	-0,18	1,59	-0,38	-0,10
3	0,03	-0,03	0,27	1,47	3,42	0,26	-0,08	1,29	0,14	-0,34	-0,35	-0,21	0,00
4	0,55	-0,04	-0,76	-0,35	-0,62	-0,11	-0,73	-0,92	0,14	0,01	-0,09	-0,14	0,08
5	-0,11	0,08	0,54	-0,06	-1,20	0,14	0,56	0,98	0,22	-0,78	-0,68	0,01	0,08
6	-0,12	0,17	0,01	-0,35	1,41	0,20	-0,15	-0,17	0,12	-0,69	-0,84	0,00	0,09
7	-0,14	-0,11	-0,73	0,12	-0,56	-0,03	-0,16	0,51	0,31	-0,42	-0,84	-0,23	0,14
8	-0,12	0,15	0,59	-0,16	-0,37	-0,25	0,61	0,84	0,29	-0,54	-0,97	-0,19	0,19
9	0,32	-0,03	-0,02	-0,06	-0,90	-0,04	0,37	0,44	0,17	-1,32	-0,94	-0,17	0,06
10	-0,44	0,05	0,09	-0,13	-0,55	-0,09	0,16	0,84	0,20	-1,40	0,97	-0,06	0,13
12	0,13	0,10	-0,20	-0,25	-0,84	0,09	-0,08	-0,39	0,17	-1,77	-0,49	-0,19	0,15
14	0,10	0,22	0,47	0,42	-0,04	0,08	0,31	0,43	0,16	-1,75	-0,51	-0,11	0,13
16	0,07	0,14	0,41	0,16	0,18	0,03	-0,13	-0,04	0,11	-1,79	-0,48	-0,14	0,10
18	0,17	0,15	0,28	0,18	-0,05	0,10	0,11	0,17	0,08	-1,96	-0,47	-0,19	0,09
20	0,09	0,08	0,15	-0,15	-0,47	0,11	0,02	1,27	0,02	-2,00	0,33	-0,16	0,05
30	2,95	-1,02	3,76	2,59	2,65	1,56	0,44	1,54	-0,71	-1,20	2,76	0,08	-0,45
50	0,74	-6,27	1,44	-1,59	3,70	-2,28	-5,45	-0,99	-4,79	-4,57	-1,63	-4,77	-5,19
75	-1,89	-9,69	-1,68	-2,54	-3,16	-5,41	-8,42	-3,97	-7,29	-6,30	-5,43	-7,40	-7,94
100	-2,20	-10,15	-2,01	-2,71	-4,56	-5,38	-7,49	-1,61	-7,32	-6,48	-5,36	-7,74	-8,14
Média	0,07	-0,61	0,36	-0,41	1,13	-0,29	0,11	-0,32	-0,40	-0,81	-0,39	-0,49	-0,43

Tabela C5 - Diferença percentual das doses absorvidas – JEFF-JENDL –AP

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	10,89	13,20	7,90	16,61	11,21	6,33	17,41	13,12	-7,79	35,18	20,20	16,05	22,61
1,00E-08	8,74	10,69	1,09	15,96	-2,85	5,03	21,89	14,05	-9,09	34,67	9,53	15,83	22,42
1,00E-07	9,44	6,78	2,59	18,01	-3,96	3,23	19,07	22,39	-13,95	33,53	8,74	13,47	19,94
2,00E-07	6,07	3,64	-1,72	17,41	-3,00	3,52	10,21	7,12	-14,92	32,86	15,97	11,56	18,98
5,00E-07	4,64	3,88	-0,01	10,60	-9,57	2,79	16,41	20,48	-15,34	32,51	7,21	10,30	17,77
1,00E-06	5,87	1,15	-3,50	6,66	-6,15	-0,27	18,37	13,66	-15,99	32,61	10,47	9,66	17,84
2,00E-06	5,00	1,61	-0,03	9,77	-11,99	0,91	21,47	17,53	-16,69	32,21	2,71	8,92	17,09
5,00E-06	5,28	2,16	-0,58	9,03	-10,57	-0,68	17,56	6,02	-17,41	31,54	3,36	8,63	16,22
1,00E-05	2,45	-2,28	-6,14	8,11	-9,56	-1,62	13,70	14,10	-17,91	31,40	2,16	6,57	15,85
2,00E-05	3,69	-1,50	-2,51	10,18	-8,91	-3,27	11,85	10,67	-18,09	31,68	2,42	7,36	15,52
5,00E-05	3,20	-3,64	-8,00	3,34	-3,34	-2,37	11,95	8,25	-18,97	31,96	0,51	6,69	14,93
0,0001	-1,88	-3,93	-5,23	5,32	-11,92	-4,32	5,30	8,18	-19,97	29,66	2,49	3,57	13,42
0,0002	0,01	-4,63	-9,11	4,04	-8,15	-4,38	14,74	1,78	-20,05	30,70	-5,34	4,83	13,39
0,0005	-2,42	-6,47	-10,61	2,24	-12,98	-6,28	9,70	0,50	-19,91	29,93	-4,06	3,65	12,57
0,001	-1,44	-8,16	-9,18	-1,52	-15,12	-6,64	10,45	7,86	-20,59	29,84	-7,54	2,63	12,66
0,002	-1,97	-8,76	-12,02	0,83	-16,56	-7,56	7,29	3,80	-20,98	29,69	-1,05	2,75	11,84
0,005	-2,81	-8,52	-9,89	0,22	-13,08	-7,94	10,08	-1,30	-21,06	29,48	-1,26	1,90	11,60
0,01	-2,56	-10,59	-12,85	-2,95	-9,90	-9,11	12,22	2,41	-21,50	30,21	-0,60	2,50	10,73
0,02	-5,23	-13,14	-13,83	-1,94	-14,61	-9,77	8,32	1,77	-22,31	28,49	-7,26	1,16	9,65
0,03	-5,41	-10,17	-13,73	-2,71	-13,40	-8,90	8,78	0,62	-21,45	30,26	-7,17	0,66	10,03
0,05	-6,51	-12,71	-11,62	-3,91	-13,71	-10,67	2,32	-2,48	-22,30	29,19	-9,74	-0,17	8,80
0,07	-6,39	-13,87	-16,42	-4,37	-12,01	-10,61	4,51	1,63	-22,26	28,72	-6,21	-0,88	8,70
0,1	-6,51	-14,19	-14,77	-7,49	-8,73	-11,90	4,06	-7,37	-21,92	27,60	-7,21	-1,70	7,87

0,2	-11,17	-17,36	-17,03	-9,71	-11,85	-12,19	-2,73	-5,29	-21,74	27,77	-13,48	-2,74	6,36
0,3	-10,83	-17,50	-17,29	-9,47	-9,88	-13,41	-2,89	-13,92	-21,38	26,92	-14,28	-3,90	5,19
0,5	-14,42	-21,07	-16,45	-16,93	-7,89	-16,64	-5,81	-11,04	-20,64	24,23	-13,31	-6,64	1,97
0,7	-14,05	-21,35	-16,73	-19,12	-7,27	-15,12	-9,51	-15,34	-17,11	21,74	-16,35	-7,64	0,09
0,9	-14,77	-22,61	-18,66	-20,92	-4,40	-16,22	-6,06	-17,51	-19,10	22,36	-15,90	-8,12	0,46
1	-15,06	-22,01	-16,85	-19,87	-4,90	-13,96	-8,96	-18,48	-17,93	22,01	-16,23	-8,00	-0,11
2	-11,19	-17,28	-11,80	-19,39	-2,56	-9,84	-10,22	-12,62	-12,92	15,09	-10,85	-8,05	-2,36
3	-8,64	-12,16	-7,82	-15,12	-1,57	-7,00	-6,49	-10,65	-9,29	12,24	-7,66	-5,64	-1,18
4	-4,80	-7,71	-4,41	-12,59	0,97	-3,94	-3,96	-5,60	-6,04	11,73	-4,07	-3,01	1,01
5	-7,31	-10,45	-6,88	-12,97	-1,68	-6,78	-9,13	-7,00	-8,60	4,16	-6,66	-7,10	-4,12
6	-8,31	-11,18	-6,44	-14,20	-0,48	-7,82	-8,77	-11,29	-9,54	0,26	-6,96	-8,98	-6,59
7	-4,81	-7,81	-4,27	-8,68	-1,10	-4,42	-7,71	-6,33	-6,12	3,21	-4,95	-5,30	-2,81
8	-4,39	-6,63	-3,53	-7,53	-0,08	-4,16	-4,61	-4,10	-5,54	3,04	-4,39	-4,40	-2,50
9	-5,32	-7,55	-4,10	-8,57	0,77	-4,37	-7,25	-5,87	-6,06	1,20	-3,80	-5,56	-3,99
10	-3,34	-4,89	-3,00	-6,63	-0,52	-3,14	-3,27	-4,28	-3,89	2,71	-1,42	-2,98	-1,42
12	-3,65	-4,74	-3,19	-5,99	-1,37	-3,22	-4,82	-3,30	-4,12	2,01	-2,40	-3,43	-2,10
14	-5,24	-6,10	-5,17	-6,78	-1,19	-4,36	-3,39	-5,84	-5,08	-0,63	-4,46	-3,66	-3,28
16	-7,28	-8,86	-8,34	-8,62	-5,86	-7,59	-4,97	-9,65	-7,67	-4,03	-7,35	-5,08	-5,65
18	-12,88	-14,15	-14,15	-13,97	-8,19	-13,23	-11,65	-12,08	-11,35	-8,65	-13,92	-6,75	-9,84
20	-16,81	-17,58	-18,94	-17,11	-10,00	-16,87	-12,46	-17,67	-14,99	-12,82	-18,41	-10,22	-13,86
30	-14,39	-12,92	-16,93	-12,12	-14,69	-14,63	-7,88	-14,43	-7,23	-3,57	-16,92	-3,51	-7,04
50	-13,44	-10,30	-16,35	-11,33	-16,09	-13,14	-5,09	-9,65	0,88	10,98	-18,96	2,95	-1,28
75	-8,39	-4,35	-12,07	-6,59	-12,91	-8,04	1,89	-5,83	10,96	28,39	-15,33	11,30	6,77
100	-1,04	3,88	-4,83	1,12	-6,97	-0,24	10,00	1,30	21,95	45,41	-8,13	21,17	16,67
Média	-4,24	-7,70	-8,63	-3,61	-7,20	-6,49	3,02	-1,31	-13,26	20,63	-4,64	1,08	6,40

Tabela C6 - Diferença percentual das doses absorvidas –JEFF-JENDL –PA

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	23,66	-7,55	21,08	15,44	13,10	13,81	2,41	33,41	-34,53	27,39	25,61	3,15	7,84
1,00E-08	19,65	-12,01	18,41	3,81	34,79	10,42	7,43	5,23	-37,10	24,54	7,49	0,01	4,43
1,00E-07	13,11	-16,14	16,51	9,71	15,87	4,22	5,88	10,39	-40,41	23,90	30,08	-2,98	0,89
2,00E-07	12,75	-19,12	11,00	7,06	14,19	4,15	1,21	13,38	-40,71	22,29	22,16	-4,95	-0,10
5,00E-07	12,09	-19,55	14,62	4,00	12,09	2,47	1,11	7,60	-41,17	21,95	23,29	-6,51	-1,92
1,00E-06	12,18	-20,82	12,62	5,55	23,53	3,06	4,92	13,71	-41,65	21,88	13,61	-6,90	-2,57
2,00E-06	11,83	-21,99	13,34	7,18	26,76	1,26	-2,07	5,37	-41,39	21,58	15,95	-7,74	-3,29
5,00E-06	12,44	-23,50	12,22	2,95	29,07	-0,54	-4,94	25,88	-41,59	21,04	17,30	-8,90	-4,01
1,00E-05	11,18	-24,64	11,64	6,56	27,90	-1,92	-2,99	8,89	-41,61	20,71	14,80	-9,40	-4,50
2,00E-05	6,58	-25,42	7,55	8,96	20,61	-2,00	-4,16	10,20	-41,79	20,78	11,40	-10,36	-4,94
5,00E-05	8,31	-26,39	6,98	5,28	20,52	-3,61	-3,77	4,19	-41,54	21,01	20,07	-11,20	-5,45
0,0001	7,41	-25,95	10,96	2,78	19,37	-3,18	-1,96	9,95	-41,65	20,52	7,76	-11,57	-6,15
0,0002	10,37	-26,93	3,85	6,19	8,55	-3,04	-3,23	16,11	-41,61	20,06	5,50	-13,31	-6,32
0,0005	6,93	-29,27	5,13	-4,22	13,36	-3,68	-9,56	14,98	-41,57	19,86	18,05	-13,85	-6,95
0,001	5,15	-29,51	7,06	2,46	16,84	-5,20	-2,33	8,63	-41,56	18,93	6,71	-14,74	-7,76
0,002	6,56	-29,94	6,73	-0,28	22,61	-5,71	-7,13	4,41	-41,62	18,74	18,01	-15,27	-8,07
0,005	4,27	-30,05	5,90	0,69	26,81	-5,36	-9,32	-0,41	-41,22	18,91	-2,19	-15,59	-8,13
0,01	5,63	-29,89	4,48	-0,45	27,17	-7,93	-8,64	1,95	-40,78	19,28	14,09	-15,14	-8,33
0,02	4,50	-31,87	4,33	-2,35	10,93	-8,02	-10,56	-1,88	-40,39	18,09	6,51	-17,03	-9,01
0,03	3,27	-31,09	3,74	-0,20	29,71	-6,55	-10,22	4,85	-39,57	19,51	13,97	-16,26	-8,95
0,05	3,18	-31,77	4,03	-7,33	26,67	-6,26	-11,73	5,27	-38,44	18,98	0,65	-17,50	-9,43
0,07	-0,47	-32,91	3,02	-3,31	6,95	-9,13	-13,01	1,53	-37,28	18,76	1,90	-17,77	-9,36
0,1	-1,80	-33,68	-0,44	-7,64	23,33	-10,28	-9,96	5,87	-36,04	18,25	9,01	-17,88	-9,99

0,2	0,59	-33,63	0,14	-7,28	5,94	-10,54	-15,47	-4,28	-31,89	17,62	-4,06	-18,46	-9,77
0,3	0,29	-32,87	-1,83	-7,39	20,94	-12,85	-12,05	-0,71	-28,14	16,79	-6,99	-19,02	-9,21
0,5	-5,27	-32,12	-5,53	-12,12	12,07	-14,24	-18,45	-7,54	-23,57	14,69	2,20	-18,96	-9,05
0,7	-6,49	-26,41	-7,55	-17,15	6,21	-14,96	-17,44	-13,77	-16,20	11,94	-2,27	-16,51	-6,51
0,9	-7,03	-29,55	-6,70	-12,42	9,20	-15,34	-17,72	-11,31	-20,19	12,87	-6,90	-18,41	-7,98
1	-7,30	-27,61	-7,48	-18,32	7,53	-15,20	-17,04	-10,06	-17,50	12,51	-9,99	-16,90	-6,83
2	-10,76	-16,45	-8,66	-18,94	-1,34	-10,69	-13,44	-11,15	-10,57	8,44	-9,70	-10,81	-3,82
3	-8,36	-11,88	-7,63	-15,24	4,49	-7,53	-9,75	-8,80	-7,78	6,57	-6,73	-7,25	-2,32
4	-6,06	-7,88	-4,70	-12,34	1,58	-3,66	-5,99	-5,31	-5,42	6,29	-1,62	-4,22	-0,80
5	-8,84	-8,73	-8,02	-14,44	-5,62	-7,15	-7,24	-8,75	-5,49	3,34	-11,35	-6,31	-2,70
6	-10,76	-8,65	-10,53	-14,18	-9,85	-8,40	-7,51	-8,28	-4,10	2,67	-10,05	-6,50	-2,47
7	-6,24	-6,15	-6,01	-8,92	-2,48	-4,87	-4,27	-5,05	-3,47	3,69	-6,51	-4,10	-1,30
8	-4,92	-5,39	-4,48	-10,34	-3,54	-4,74	-3,24	-5,16	-3,38	3,00	-3,96	-3,67	-1,21
9	-6,85	-6,13	-6,90	-8,38	-7,06	-5,52	-3,98	-6,59	-2,93	2,20	-7,37	-3,85	-1,76
10	-3,39	-4,71	-3,18	-7,36	-1,14	-3,25	-3,08	-3,51	-3,09	1,86	-3,51	-2,58	-1,27
12	-3,69	-4,30	-3,83	-6,85	-2,89	-3,60	-4,03	-3,96	-3,13	1,57	-6,20	-3,24	-1,66
14	-4,77	-6,20	-4,42	-7,75	-2,24	-4,79	-5,27	-4,87	-5,61	-2,21	-6,32	-4,02	-4,09
16	-5,20	-10,47	-5,02	-7,95	-3,14	-6,98	-7,29	-7,86	-10,56	-7,80	-5,27	-6,53	-8,43
18	-9,99	-16,66	-8,63	-12,40	-0,96	-11,47	-10,60	-11,75	-16,18	-14,20	-11,83	-9,68	-14,48
20	-14,12	-20,09	-13,14	-16,92	-2,61	-15,59	-15,08	-15,00	-19,87	-18,29	-15,48	-13,16	-18,48
30	-7,61	-18,25	-4,97	-10,30	10,32	-11,34	-12,28	-10,57	-17,96	-14,72	-8,85	-10,74	-16,82
50	-2,56	-18,23	0,08	-8,15	23,23	-7,90	-11,85	-8,25	-15,54	-7,17	-7,16	-8,78	-15,78
75	4,26	-13,48	7,50	-0,72	29,28	-1,79	-7,13	-1,63	-9,28	5,19	-2,57	-2,52	-10,42
100	13,77	-6,33	18,02	7,47	40,84	6,71	1,24	8,17	-1,21	18,17	6,26	5,44	-2,87
Média	1,65	-20,26	2,16	-3,95	12,76	-5,08	-6,84	0,93	-25,71	11,96	3,31	-9,84	-5,79

Tabela C7 - Diferença percentual das doses absorvidas – ENDF-ICRP –AP

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	-3,46	9,40	4,29	-29,54	30,73	11,30	60,36	-28,91	-43,20	-15,08	-35,65	20,72	-10,62
1,00E-08	8,84	19,51	8,02	-23,05	54,06	21,99	52,65	-22,00	-24,83	-6,82	-32,48	31,17	-3,40
1,00E-07	-12,85	1,21	-10,34	-34,71	62,04	-2,08	14,75	-17,38	-6,84	-15,28	-26,34	12,31	-16,42
2,00E-07	-17,06	-3,58	-15,75	-40,84	68,39	-10,45	14,17	-25,96	-5,64	-20,33	-28,53	4,34	-21,20
5,00E-07	-28,35	-14,20	-23,32	-44,06	57,50	-18,75	-1,00	-25,09	-4,34	-24,89	-31,91	-4,56	-26,92
1,00E-06	-31,74	-19,12	-27,83	-49,87	62,93	-21,05	-5,62	-27,46	-3,27	-27,54	-33,17	-7,95	-29,86
2,00E-06	-35,42	-20,19	-29,05	-50,83	67,55	-23,21	-14,53	-24,58	-2,88	-29,58	-30,60	-12,50	-32,11
5,00E-06	-36,21	-20,72	-33,14	-51,44	59,99	-25,40	-18,23	-24,74	-2,28	-30,25	-32,84	-14,85	-33,86
1,00E-05	-36,39	-21,49	-30,96	-50,07	64,39	-26,58	-19,12	-25,73	-1,50	-29,95	-28,76	-16,17	-33,79
2,00E-05	-36,74	-20,48	-29,65	-50,18	66,27	-24,37	-16,07	-21,77	1,15	-29,20	-29,61	-17,04	-33,72
5,00E-05	-36,82	-19,66	-29,24	-49,24	71,45	-24,02	-20,41	-22,12	3,97	-26,97	-25,15	-15,47	-32,53
0,0001	-36,33	-19,26	-29,22	-48,66	86,77	-23,53	-20,54	-16,81	6,53	-25,55	-18,91	-14,31	-31,92
0,0002	-36,63	-18,18	-27,09	-48,42	87,89	-22,90	-19,41	-15,82	10,65	-23,42	-14,47	-12,38	-29,88
0,0005	-35,22	-17,79	-25,25	-46,44	98,86	-20,81	-21,62	-14,34	15,24	-21,96	-15,85	-9,95	-29,13
0,001	-36,13	-17,91	-24,25	-47,51	102,08	-21,63	-20,37	-16,08	17,95	-20,68	-12,10	-6,69	-28,46
0,002	-35,37	-18,42	-26,38	-46,12	94,71	-20,29	-24,08	-12,18	15,87	-21,15	-11,59	-5,80	-28,24
0,005	-35,57	-17,37	-24,47	-48,12	88,73	-20,00	-22,25	-10,55	3,43	-22,04	-15,79	-6,05	-29,63
0,01	-35,32	-17,29	-23,39	-47,27	70,16	-19,93	-25,89	-12,92	-11,63	-22,94	-16,42	-8,00	-30,73
0,02	-33,40	-16,22	-22,62	-47,34	56,20	-17,65	-26,73	-17,20	-26,62	-23,62	-20,21	-11,62	-32,27
0,03	-31,95	-14,04	-20,97	-44,58	45,88	-17,53	-23,83	-16,00	-34,79	-24,23	-26,99	-13,45	-32,84
0,05	-31,08	-13,56	-20,91	-45,26	25,36	-17,77	-22,62	-26,13	-45,31	-26,74	-31,81	-17,65	-34,81
0,07	-29,57	-14,81	-20,62	-43,25	13,98	-17,85	-18,09	-30,82	-51,50	-29,18	-37,75	-20,42	-36,70
0,1	-29,71	-15,96	-21,83	-47,10	0,85	-19,47	-22,51	-39,42	-57,95	-33,55	-48,75	-23,02	-40,03

0,2	-31,95	-30,93	-36,59	-54,44	-23,81	-29,40	-18,49	-57,65	-67,64	-44,54	-62,22	-28,16	-47,42
0,3	-36,82	-41,67	-45,70	-58,80	-34,08	-38,58	-22,55	-66,33	-71,59	-51,16	-69,37	-30,25	-52,34
0,5	-42,50	-51,09	-53,30	-65,93	-33,70	-47,20	-28,60	-73,61	-73,62	-57,98	-72,59	-34,02	-57,43
0,7	-48,31	-57,84	-55,24	-71,05	-30,42	-50,54	-39,90	-78,07	-73,79	-65,05	-74,73	-41,09	-62,10
0,9	-55,22	-63,21	-62,18	-73,60	-35,92	-57,76	-50,95	-78,78	-76,74	-67,09	-75,78	-48,07	-66,30
1	-55,14	-62,80	-60,48	-72,76	-33,07	-56,24	-52,13	-78,29	-75,15	-67,41	-74,99	-47,60	-65,58
2	-49,96	-54,67	-50,51	-67,13	-8,97	-46,04	-53,59	-67,40	-64,95	-66,85	-60,93	-44,49	-59,36
3	-45,86	-48,08	-43,08	-61,19	1,40	-39,93	-48,91	-57,32	-57,18	-65,33	-50,61	-40,12	-53,62
4	-46,06	-46,82	-40,85	-59,09	14,34	-38,37	-49,58	-52,61	-53,60	-65,95	-44,30	-41,21	-53,06
5	-41,07	-39,40	-35,21	-52,07	9,03	-32,93	-40,86	-43,46	-47,85	-62,26	-37,95	-33,88	-46,06
6	-39,63	-37,45	-32,57	-50,17	11,78	-31,06	-39,08	-41,55	-46,27	-61,80	-33,95	-32,83	-44,42
7	-35,70	-32,32	-29,24	-44,49	6,89	-27,27	-34,48	-35,49	-42,17	-58,70	-32,26	-27,50	-38,98
8	-36,71	-32,71	-29,58	-44,22	10,15	-28,38	-34,19	-33,86	-42,34	-58,01	-31,48	-27,72	-39,36
9	-36,39	-31,89	-29,29	-42,97	9,85	-27,83	-33,52	-33,70	-42,29	-57,42	-30,65	-27,59	-38,72
10	-34,68	-29,31	-26,73	-40,70	7,68	-26,16	-30,99	-31,99	-41,13	-56,08	-28,39	-25,89	-36,81
12	-32,27	-25,86	-22,96	-36,13	12,05	-22,65	-26,31	-27,92	-38,42	-54,01	-25,29	-22,75	-34,09
14	-30,13	-21,87	-20,57	-31,40	13,21	-19,26	-20,20	-24,72	-34,25	-50,94	-20,46	-18,10	-30,14
16	-27,66	-18,61	-17,47	-27,99	16,05	-15,75	-15,59	-20,47	-29,95	-48,42	-16,76	-14,16	-27,04
18	-26,52	-16,14	-15,75	-25,44	18,59	-13,58	-12,75	-19,19	-25,35	-46,23	-13,63	-9,63	-24,28
20	-25,87	-14,47	-14,63	-23,95	21,59	-11,78	-8,82	-17,11	-21,83	-44,59	-11,45	-7,52	-22,90
30	-22,80	-7,42	-8,43	-15,07	30,78	-3,89	-1,02	-6,66	-2,42	-39,82	5,76	0,28	-16,78
50	-18,43	1,67	1,54	-3,69	56,93	7,91	7,92	12,98	32,58	-31,68	34,41	9,63	-9,49
75	-11,16	12,47	15,54	10,04	91,78	20,87	11,65	36,93	66,41	-23,58	71,25	17,57	-1,22
100	-3,76	23,23	30,38	22,87	129,06	32,57	13,49	62,18	86,32	-17,34	103,07	22,87	6,26
Média	-32,07	-22,07	-25,25	-43,05	36,13	-20,96	-18,09	-28,26	-23,21	-38,58	-26,79	-15,35	-33,62

Tabela C8 - Diferença percentual das doses absorvidas – ENDF-ICRP –PA

Energia	Diferença Percentual (%)												
(MeV)	Cólon	Pulmão	Estômago	Bexiga	Mama	Fígado	Esôfago	Tireoide	Pele	Osso cort.	Gônadas	Medula	Restante
1,00E-09	-35,67	19,95	14,45	35,24	8,03	3,05	-5,77	102,08	-1,41	10,25	66,81	-19,32	25,37
1,00E-08	-23,74	35,88	23,32	58,18	59,69	17,84	10,57	165,46	39,93	32,38	89,96	-5,61	41,28
1,00E-07	-42,88	21,66	12,75	40,09	28,72	5,31	5,88	182,28	75,47	29,13	65,90	-6,78	37,21
2,00E-07	-47,82	15,73	10,54	28,69	20,36	-1,66	0,18	172,63	78,70	24,48	68,92	-10,82	31,20
5,00E-07	-51,31	5,89	1,02	25,68	15,91	-9,17	-7,53	166,22	79,94	18,27	46,46	-15,38	23,59
1,00E-06	-56,09	1,18	-7,03	16,76	9,98	-13,50	-15,02	136,21	79,10	12,29	45,77	-19,49	17,71
2,00E-06	-57,11	-2,94	-14,29	13,51	1,58	-17,42	-18,00	133,91	77,98	9,60	45,93	-22,63	13,39
5,00E-06	-58,31	-2,93	-16,67	7,50	-6,81	-21,01	-22,16	105,58	78,62	8,53	26,83	-23,74	9,05
1,00E-05	-58,00	-3,18	-20,41	3,17	-6,74	-23,21	-20,93	107,99	79,03	7,84	29,03	-22,90	6,68
2,00E-05	-57,66	-1,47	-19,53	2,90	2,99	-22,93	-23,32	88,44	80,98	8,54	32,64	-23,42	5,75
5,00E-05	-58,18	-0,06	-21,78	2,91	-4,81	-24,19	-21,97	99,45	84,47	9,32	18,02	-23,04	5,89
0,0001	-57,97	1,00	-21,46	2,18	-3,79	-22,64	-24,75	78,19	88,73	11,26	21,52	-20,63	6,60
0,0002	-57,87	1,34	-20,42	-0,85	-4,01	-21,52	-24,26	84,04	94,43	12,94	20,39	-19,00	8,94
0,0005	-57,86	0,95	-16,75	1,23	4,93	-20,65	-21,82	87,45	101,13	15,43	29,72	-16,69	12,16
0,001	-56,72	0,29	-19,20	2,92	-11,59	-19,76	-23,44	84,37	103,43	16,35	26,18	-15,30	13,87
0,002	-58,15	2,38	-17,54	6,69	-4,30	-17,07	-21,25	80,08	97,90	18,88	32,22	-14,79	15,23
0,005	-57,55	1,43	-15,65	5,77	-4,22	-16,79	-19,87	89,77	75,83	19,34	33,30	-14,92	13,74
0,01	-57,05	3,25	-15,19	1,75	-1,63	-16,11	-18,99	90,80	54,27	18,44	42,16	-15,47	11,27
0,02	-57,06	4,30	-16,91	7,36	-6,39	-14,53	-14,59	102,49	25,46	14,83	32,44	-18,13	6,98
0,03	-54,76	6,40	-13,21	5,78	7,20	-12,62	-14,78	101,84	12,75	12,21	36,62	-20,20	3,99
0,05	-54,23	5,22	-14,45	3,40	3,45	-14,55	-11,27	94,51	-2,81	6,41	39,92	-23,51	-0,74
0,07	-53,84	1,89	-11,50	1,33	3,62	-13,93	-12,22	106,98	-12,00	1,66	35,89	-27,51	-4,72
0,1	-52,36	-2,10	-12,15	7,77	1,08	-15,19	-11,34	110,58	-21,02	-4,74	37,62	-31,21	-9,01

0,2	-54,55	-24,40	-11,70	14,41	8,88	-19,93	-10,34	125,86	-33,44	-18,81	48,30	-41,22	-16,97
0,3	-56,85	-33,13	-10,95	10,63	2,77	-23,88	-16,93	113,04	-37,86	-27,20	45,82	-46,76	-21,01
0,5	-62,13	-41,19	-11,31	6,19	-9,96	-29,49	-21,10	122,12	-37,32	-34,94	45,84	-51,72	-22,58
0,7	-67,41	-40,88	-12,95	2,68	-30,69	-36,29	-26,77	108,41	-29,29	-41,15	34,65	-52,34	-19,04
0,9	-71,49	-53,15	-20,44	-6,73	-41,80	-45,41	-38,47	76,83	-43,92	-48,89	31,76	-59,86	-35,46
1	-71,94	-49,74	-18,12	-6,31	-43,10	-43,62	-35,70	62,94	-38,27	-47,71	21,74	-57,20	-30,49
2	-71,10	-38,29	-34,60	-19,59	-47,38	-39,25	-22,25	25,19	-21,76	-46,36	-1,50	-47,35	-21,90
3	-68,12	-33,22	-37,40	-25,14	-41,14	-35,94	-16,28	12,93	-13,83	-46,20	-13,73	-41,43	-19,82
4	-68,43	-30,92	-42,72	-31,75	-44,48	-36,47	-15,24	3,11	-7,74	-45,34	-23,45	-38,62	-19,43
5	-61,67	-25,65	-34,16	-23,05	-28,80	-29,55	-9,06	13,02	-7,49	-44,04	-17,84	-32,41	-16,56
6	-59,68	-23,87	-33,39	-21,82	-30,94	-28,03	-8,92	15,68	-6,59	-43,49	-15,89	-29,13	-15,10
7	-54,64	-20,45	-26,40	-16,39	-18,72	-23,44	-6,09	22,03	-8,04	-42,66	-8,33	-25,07	-13,37
8	-55,64	-21,28	-29,09	-21,77	-20,94	-25,02	-9,87	15,40	-9,57	-41,69	-14,16	-24,02	-14,55
9	-54,33	-20,52	-29,09	-20,07	-21,06	-24,94	-10,87	16,48	-10,16	-40,77	-15,39	-23,01	-13,92
10	-51,66	-18,25	-26,55	-18,94	-19,45	-23,27	-9,92	19,11	-9,86	-39,44	-13,82	-20,76	-12,10
12	-49,23	-14,68	-24,94	-17,23	-19,33	-21,04	-9,62	22,85	-7,26	-36,70	-13,58	-16,81	-9,24
14	-45,92	-12,37	-21,12	-14,75	-13,50	-17,97	-7,48	24,02	-5,89	-35,39	-12,03	-13,24	-7,69
16	-43,07	-9,98	-18,64	-11,62	-8,92	-15,03	-4,41	25,11	-2,51	-33,26	-7,01	-9,68	-5,42
18	-40,67	-9,49	-15,62	-9,78	-2,39	-12,72	-3,13	23,01	-0,34	-32,85	-6,60	-6,54	-5,17
20	-39,70	-8,09	-14,45	-9,94	0,81	-11,47	-2,98	20,33	2,82	-31,79	-5,37	-4,95	-4,50
30	-34,35	-1,64	-9,63	-2,67	7,77	-4,65	2,13	10,87	20,93	-29,10	0,21	3,30	-0,49
50	-27,89	7,89	-6,86	2,18	12,80	4,38	10,20	-1,98	56,28	-21,15	5,24	16,24	4,81
75	-20,48	21,36	-3,79	2,28	20,29	13,07	17,77	-6,15	91,16	-10,89	8,56	29,29	11,66
100	-12,38	34,47	-0,88	0,67	26,33	19,20	23,33	-7,49	110,93	-1,38	8,83	39,52	17,80
Média	-52,46	-7,48	-15,47	0,88	-5,31	-17,51	-12,10	73,07	28,13	-11,22	21,41	-20,94	0,10

Tabela C9 - Diferença percentual das doses Efetivas – AP

Energia (MeV)	Diferença percentual (%)		
	ENDF-JEFF	ENDF-JENDL	JEFF-JENDL
1,00E-09	-0,39	13,52	13,96
1,00E-08	1,90	10,39	8,34
1,00E-07	0,76	8,75	7,93
2,00E-07	0,52	7,75	7,19
5,00E-07	-0,77	4,05	4,86
1,00E-06	-0,82	3,88	4,74
2,00E-06	0,94	3,96	2,99
5,00E-06	-1,26	1,31	2,60
1,00E-05	1,15	1,98	0,82
2,00E-05	-0,98	0,57	1,56
5,00E-05	-1,17	-1,01	0,16
0,0001	-0,23	-1,12	-0,89
0,0002	1,22	-1,67	-2,86
0,0005	0,29	-3,94	-4,22
0,001	1,52	-3,66	-5,11
0,002	-0,01	-4,45	-4,44
0,005	-0,30	-4,31	-4,02
0,01	-0,23	-4,42	-4,20
0,02	1,14	-6,19	-7,25
0,03	-0,08	-6,87	-6,80
0,05	-0,33	-8,45	-8,14
0,07	-0,13	-7,88	-7,75
0,1	-0,20	-8,40	-8,21
0,2	0,19	-11,44	-11,61

0,3	-0,58	-12,69	-12,18
0,5	-0,12	-13,07	-12,97
0,7	0,30	-13,81	-14,07
0,9	1,89	-12,60	-14,23
1	-0,18	-14,23	-14,08
2	0,18	-10,35	-10,51
3	-0,04	-7,60	-7,57
4	-0,17	-4,32	-4,15
5	-0,12	-7,15	-7,04
6	-0,18	-7,91	-7,75
7	0,14	-4,98	-5,12
8	0,20	-4,01	-4,20
9	0,06	-4,67	-4,73
10	0,10	-2,76	-2,86
12	0,06	-3,21	-3,26
14	0,02	-4,56	-4,58
16	-0,04	-7,37	-7,34
18	-0,09	-12,44	-12,36
20	0,08	-16,13	-16,20
30	-0,09	-13,40	-13,32
50	4,13	-8,27	-11,91
75	7,61	0,37	-6,73
100	7,77	8,93	1,08
Média	0,50	-4,13	-4,61

Tabela C10 - Diferença percentual das doses Efetivas – PA

Energia (MeV)	Diferença percentual (%)		
	ENDF-JEFF	ENDF-JENDL	JEFF-JENDL
1,00E-09	-1,33	7,95	9,41
1,00E-08	1,19	4,60	3,38
1,00E-07	-1,69	1,91	3,66
2,00E-07	0,17	0,88	0,71
5,00E-07	-0,50	-0,46	0,04
1,00E-06	-0,96	-1,92	-0,97
2,00E-06	-0,57	-2,36	-1,80
5,00E-06	-1,73	-3,69	-2,00
1,00E-05	-0,71	-3,95	-3,27
2,00E-05	1,14	-3,67	-4,75
5,00E-05	0,20	-4,44	-4,63
0,0001	-0,88	-6,37	-5,54
0,0002	-0,02	-6,71	-6,69
0,0005	0,21	-6,45	-6,65
0,001	0,34	-7,71	-8,02
0,002	-0,34	-7,51	-7,19
0,005	1,18	-9,20	-10,26
0,01	0,31	-7,82	-8,10
0,02	0,45	-10,27	-10,67
0,03	-0,57	-9,22	-8,71
0,05	0,37	-10,85	-11,18
0,07	0,04	-12,10	-12,13
0,1	0,68	-10,92	-11,52
0,2	1,76	-12,48	-13,99

0,3	0,69	-13,37	-13,97
0,5	-0,28	-14,66	-14,42
0,7	0,10	-13,84	-13,92
0,9	1,04	-14,43	-15,31
1	-0,58	-15,62	-15,13
2	-0,07	-11,32	-11,26
3	-0,14	-8,16	-8,03
4	0,18	-4,53	-4,70
5	0,01	-8,17	-8,18
6	0,09	-8,47	-8,56
7	0,28	-5,00	-5,26
8	0,08	-4,31	-4,38
9	0,18	-5,64	-5,81
10	-0,17	-3,56	-3,40
12	0,18	-4,03	-4,20
14	-0,04	-5,22	-5,18
16	0,04	-6,83	-6,87
18	0,03	-11,50	-11,53
20	-0,11	-15,36	-15,27
30	-1,49	-11,60	-10,26
50	2,30	-5,37	-7,50
75	5,77	4,06	-1,62
100	5,85	13,43	7,16