

MODELO ANATÔMICO EM CORTE AXIAL DA REGIÃO DO ESÔFAGO PARA ESTUDOS E SIMULAÇÃO DO TRANSPORTE DE NÊUTRONS PARA USO EM TERAPIA POR CAPTURA DE NÊUTRONS PELO BORO - BNCT¹

*ANATOMICAL MODEL IN AXIAL CUT OF THE ESOPHAGUS FOR
STUDIES AND SIMULATION OF THE NEUTRONS TRANSPORT TO
USE IN BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY - BNCT*

Ângela Beatriz Krindges² e Gilberto Orengo³

RESUMO

Neste trabalho, é proposto um modelo anatômico, em corte axial, referente à 8ª vértebra, para estudos e simulações em transporte de nêutrons para o tratamento do câncer de esôfago, utilizando a Terapia por Captura Neutrônica pelo Boro (BNCT). Para construção do modelo, foram obtidas as constituições químicas e a densidade dos meios materiais (órgãos e tecidos) que envolvem a região do esôfago. A construção do modelo foi baseada no Atlas Anatômico Netter e em informações fornecidas por profissionais da área médica. É também apresentado um modelo unidimensional para uso em cálculos neutrônicos.

Palavras-chaves: BNCT, câncer de esôfago, transporte de nêutrons.

ABSTRACT

This work propose an anatomical model, in axial cut at 8th vertebra, to studies and simulations in neutron transport to treatment of the esophagus cancer, using the Boron Neutron Capture Therapy (BNCT). To make the model was obtained the chemical constitutions and the density of the organs and tissues that involve the area of the esophagus. The construction of the model was based on the Anatomical Atlas Netter and in information supplied by professionals of the medical area. It is also presented a model unidimensional for use in neutronic calculations.

Keywords: BNCT, esophagus cancer, neutron transport.

¹ Trabalho Final de Graduação - TFG.

² Acadêmico do Curso de Física Médica.- UNIFRA.

³ Orientador - UNIFRA.

INTRODUÇÃO

Os tumores malignos do esôfago constituem-se, no segundo ou terceiro mais freqüente em homens, dentre os tumores do aparelho digestivo. Mais de 97% desses tumores ocorrem em fumantes ou consumidores de doses variadas de álcool diariamente e, aproximadamente, 90% são fumantes e etilistas. No Brasil, esse tipo de tumor maligno, consta entre os dez mais incidentes, segundo dados obtidos dos Registros de Base Populacional existentes e, em 2000, foi o sexto tipo mais mortal, com 5.307 óbitos. De acordo com as estimativas de incidência de câncer no Brasil para 2006, extraídas do sítio do INCA, na *internet* (INCA, 2005), devem ocorrer cerca de 10.580 casos novos desse tipo de câncer, dos quais, 7.970 entre os homens e 2.610 entre as mulheres.

Para o tratamento, tem-se a cirurgia, radioterapia, quimioterapia ou a combinação destes três tipos. Para os tumores iniciais, pode ser indicada a ressecção endoscópica, no entanto, esse tipo de tratamento é bastante raro. Na maioria dos casos, a cirurgia é o tratamento utilizado. Dependendo da extensão da doença, o tratamento pode passar a ser unicamente paliativo, aplica-se então quimioterapia ou radioterapia. Também, como cuidado paliativo, dispõe-se de dilatações com endoscopia, colocação de próteses auto-expansivas, assim como uso da braquiterapia. Um tratamento ainda não utilizado é a Terapia por Captura de Nêutrons pelo Boro (BNCT em inglês, *Boron Neutron Capture Therapy*).

A BNCT é uma terapia com radiação para tratamento de alguns tipos de câncer, atual e especialmente de cérebro e de pele. Na BNCT, um agente de entrega seletiva é utilizado para depositar o boro (^{10}B) nas células cancerígenas. Os dois fragmentos emitidos pela reação nuclear ($^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$), quando o ^{10}B captura um nêutron térmico, têm curto alcance no tecido - da ordem de 9 microns para a partícula alfa e 5 microns para o lítio. Dessa forma, eles liberam suas energias somente para as próprias células ou próximas.

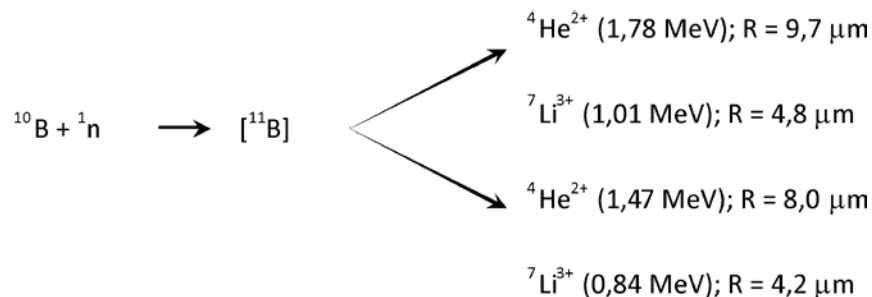
Na maioria dos estudos realizados na aplicação da BNCT, são usados os nêutrons oriundos de reatores nucleares. Uma linha de pesquisa emergente é a que estuda a possibilidade de usar os aceleradores lineares para produção de nêutrons (KRINDGES et al., 2005; KRINDGES et al., 2006). A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) possui um acelerador linear (Gerador de Nêutrons) que produz nêutrons de 14 MeV, pela reação nuclear DT ($^3\text{H}(^2\text{H},n)\alpha$). Para utilizar esses nêutrons na BNCT, é necessário termalizá-los, isto é, reduzir a energia a poucos elétron-volts, mas mantendo uma fluência neutrônica suficiente para atacar o tumor. Um projeto para utilização desse equipamento foi elaborado em colaboração do Centro Universitário Franciscano (UNIFRA) com a UFSM e está em fase de implantação (ORENGO, 2004). Outra linha

de pesquisa, que também está em estudos iniciais é o uso de fontes de nêutrons, oriundas do Califórnio-252 para uso medicinal. Nesse caso, o interesse é na aplicação para o tratamento do câncer de esôfago.

Neste trabalho, será proposto um modelo anatômico, em corte axial, referente à 8ª vértebra, para estudos e simulações em transporte de nêutrons (LEWIS; MILLER, 1984) para o câncer de esôfago. Para apresentação do modelo, foram obtidas as constituições químicas e a densidade dos meios materiais (órgãos e tecidos). O modelo foi baseado no Atlas Anatômico Netter (NETTER, 2004) e em informações (dados) fornecidas por profissionais da área médica.

A TERAPIA POR CAPTURA DE NÊUTRONS PELO BORO – BNCT

A Terapia por Captura de Nêutrons pelo Boro – BNCT – é um sistema de terapia binário, que consiste em carregar as células de tumor com altas doses de boro que, a seguir, são irradiadas com nêutrons térmicos (0,025 eV), resultando na produção de células altamente tóxicas devido à ionização por partículas de curto alcance, com localização dentro da célula tumoral. Alguns átomos são conhecidos por terem grande seção de choque para absorção térmica ou epitérmica de nêutrons. O elemento químico boro, com número de massa igual a 10 (^{10}B), tem uma seção de choque de 3837 barns⁴ para nêutrons térmicos. O boro ocorre naturalmente em uma mistura dos 2 isótopos: ^{10}B (20%) e ^{11}B (80%). O isótopo ^{11}B tem a seção de choque 10⁶ vezes menor para nêutrons térmicos do que o ^{10}B . Então, só os compostos enriquecidos com ^{10}B são considerados em uma situação terapêutica. Na captura de nêutrons pelo ^{10}B , podem ocorrer dois tipos de reação, conforme o próximo esquema, em que R é o alcance das partículas no meio.



⁴1 barn = 10⁻²⁸ m².

Para ser efetivo, pelo menos 10–30 μg de ^{10}B precisam ser entregues por grama de tecido tumoral, correspondendo à concentração de 10–30 ppm. Para obter essa concentração, aproximadamente, 10^9 átomos de ^{10}B precisam ser entregues para cada célula de tumor. A dose exigida é determinada pelas limitações de dose devido à natural ocorrência de captura em elementos no tecido. Ele precisa ser abundante em ^1H e ^{14}N , que possuem altas seções de choque, 0,33 e 1,81 barns, respectivamente. As capturas pelo ^1H produzem doses de radiação de fundo, principalmente gama, para tecidos saudáveis em uma situação terapêutica. Captura por ^{14}N produzem prótons com um alcance de 10–11 μm , que pode fornecer uma dose que limita os efeitos de radiação na área irradiada. A fluência de nêutrons de cerca de 10^{12} - 10^{13} nêutrons térmicos/ cm^2 é, aproximadamente, o limite superior para tecido sadio.

Mais informações a respeito da BNCT, bem como um histórico, podem ser obtidos em Kullberg (2003), um trabalho de doutorado que contém uma revisão completa sobre o assunto e, em Hall (2000).

FONTES DE NÊUTRONS

Os nêutrons utilizados para tratamento em BNCT, na maioria dos estudos e nos experimentos realizados, eram oriundos de reatores nucleares. Contudo, devido à dificuldade de acesso aos reatores nucleares, começou-se a pensar na possibilidade de utilização dos aceleradores lineares ou fontes naturais, como o califórnio, para produção de nêutrons. Essa iniciativa gera uma facilidade quanto ao “acesso aos nêutrons”, mas, por outro lado, surge uma dificuldade quanto à obtenção de nêutrons com energia adequada para uso em BNCT.

NÊUTRONS DE REATORES NUCLEARES

Os nêutrons oriundos dos reatores têm um largo espectro, desde poucos elétron-volts até acima de 20 MeV. Assim, para uso na BNCT, basta utilizar filtros adequados para obter os nêutrons em torno de 0,025 eV, necessários para a terapia.

NÊUTRONS DE ACELERADORES LINEARES (GERADORES DE NÊUTRONS)

Os geradores de nêutrons fornecem nêutrons em energias bem específicas, como por exemplo, de 14 MeV ou 8,0 MeV. Uma das desvantagens dos aceleradores está na produção de nêutrons rápidos e daí a necessidade de redução de sua energia (ORENGO et al., 2005). Entre as vantagens,

está o pequeno porte dos equipamentos, possibilitando a sua utilização em complexos hospitalares ou clínicas, ao contrário dos reatores nucleares.

NÊUTRONS ORIUNDOS DO CALIFÓRNIO-252

O califórnio é um metal artificial pertencente à série dos actínídeos, forte emissor de nêutrons. Foi produzido pela primeira vez, em 1950, por Stanley G. Thompson, Kenneth Street Jr. e Albert Ghiorso (USA), bombardeando-se, em um ciclotron, cúrio 242, com íons acelerados de hélio. A experiência foi realizada na Universidade da Califórnia (USA), daí o nome dado ao elemento. Todos os isótopos do califórnio são radioativos e se decompõem, com meia-vida, variando de alguns minutos a 1000 anos.

O califórnio é uma fonte de nêutrons por fissão espontânea. Sabemos que os diferentes isótopos de califórnio emitem nêutrons com diferentes energias e diferentes meias-vidas. Deve-se dar especial atenção ao califórnio-252, um forte emissor de nêutrons. Um micrograma libera 170 milhões de nêutrons por minuto.

O ESÔFAGO

O esôfago é um órgão tubular que tem como função conduzir o alimento da faringe até o estômago. Possui, aproximadamente, 25 cm de comprimento desde sua origem que é na vértebra cervical de número 6 até a junção esofagogástrica que está localizada na vértebra torácica de número 11. De acordo com sua localização, o esôfago pode ser classificado em esôfago cervical, torácico ou abdominal.

O esôfago é constituído por musculatura de dois tipos. O esôfago cervical e o início do esôfago torácico é formado por musculatura estriada e, à medida que ele aprofunda-se pelo tórax, sua musculatura sofre uma transição para músculo liso de modo que, no terço inferior do esôfago, predomina a musculatura lisa. Essa característica da disposição da musculatura é que determinará a velocidade de passagem do alimento mais lentamente no seu terço inferior. Uma vez dentro do esôfago, o alimento será impulsionado pelo peristaltismo próprio do esôfago, e este é produzido através de ondas que são classificadas em primárias, secundárias e, algumas vezes, terciárias.

As relações anatômicas do esôfago cervical são, conforme a figura 1 (ANATOMIA DO ESÔFAGO, 2006): posteriormente à coluna vertebral desde vértebra cervical de número 6 até vértebra torácica de número 1, anteriormente, relaciona-se à traquéia intimamente, lateralmente, está separado por fâscias dos grandes vasos do pescoço como, por exemplo, a carótida comum e sua divisão, a veia jugular interna, nervo vago e nervo hipoglosso.

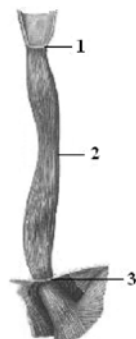


Figura 1 - Esôfago. O ponto 1 se projeta ao nível da 6ª vértebra cervical. O ponto 2 se projeta ao nível da 4ª vértebra torácica. O ponto 3 se situa ao nível do diafragma e se projeta ao nível da 10ª vértebra torácica. O esôfago termina no orifício superior do estômago desembocando ao nível da 11ª vértebra torácica.

O esôfago torácico atravessa o mediastino superior e posterior, sendo que, no mediastino superior, relaciona-se ao arco da aorta e à divisão da traquéia em brônquios principais direito e esquerdo. Já no mediastino posterior, ele atravessa um espaço localizado entre os dois pulmões. Isso também é observado no mediastino superior, passa por trás do coração e atinge a abertura do diafragma (hiato esofágico). Tanto no mediastino superior como no mediastino posterior, o esôfago relaciona-se, posteriormente, à coluna vertebral. O esôfago abdominal é a menor parte do esôfago, geralmente, com apenas 2 cm de comprimento, logo após atravessar o hiato esofágico, o esôfago desvia-se para a esquerda e alcança o estômago na junção esofagogástrica.

Os órgãos e tecidos que cercam o esôfago, na altura da 8ª vértebra torácica (região com maior número de câncer registrado), são: coração, seio oblíquo do pericárdio, aorta descendente, veia ázigo, ducto torácico, 8ª vértebra torácica, ramos brônquicos direito e esquerdo, pulmão direito e esquerdo, costelas, esterno, mediastino anterior, músculo, tecido adiposo e pele.

O TUMOR DE ESÔFAGO

O câncer de esôfago mais freqüente é o carcinoma epidermóide escamoso, responsável por 96% dos casos, com localização, principalmente, no esôfago torácico. Outro tipo de câncer de esôfago, o adenocarcinoma, teve um aumento significativo, em especial, em indivíduos com esôfago de Barrett, que tem origem nas glândulas superficiais e profundas do esôfago. O esôfago de Barrett é o crescimento anormal de células do tipo gástrico, dentro do esôfago, acima do bordo que delimita as células do esôfago das do estômago e marca o fim do esôfago.

O câncer de esôfago apresenta uma alta taxa de incidência em países como a China, Japão, Cingapura e Porto Rico. No Brasil, consta entre os dez mais incidentes, segundo dados obtidos dos Registros de

Base Populacional existentes, em 2000, foi o sexto tipo mais mortal, com 5.307 óbitos. O câncer de esôfago está associado ao alto consumo de bebidas alcoólicas e de produtos derivados do tabaco (tabagismo).

A detecção precoce do câncer de esôfago torna-se muito difícil, pois essa doença não apresenta sintomas específicos. Indivíduos que sofrem de acalasia, tílose, refluxo gastro-esofageano, síndrome de Plummer-Vinson e esôfago de Barrett possuem mais chances de desenvolver o tumor, e por isso, devem procurar o médico regularmente para a realização de exames.

O câncer de esôfago, na sua fase inicial, não apresenta sintomas. No entanto, alguns sintomas são característicos como a dificuldade ou dor ao engolir, dor retroesternal, dor torácica, sensação de obstrução à passagem do alimento, náuseas, vômitos e perda do apetite. Na maioria das vezes, a dificuldade de engolir (disfagia) já demonstra a doença em estado avançado. A disfagia progride geralmente de alimentos sólidos até alimentos pastosos e líquidos. A perda de peso pode chegar até 10% do peso corporal (INCA, 2005).

METODOLOGIA UTILIZADA

O trabalho apresentado é uma parte de um conjunto de estudos e pesquisas realizados sobre o assunto "Terapia de Captura de Nêutrons pelo Boro" (BNCT), direcionado ao câncer de esôfago.

Como mencionado anteriormente, não foi encontrado nenhum estudo sobre BNCT aplicada a este tipo de câncer. Por esse motivo, foi necessário partir de pontos básicos para o desenvolvimento do projeto. A criação de um modelo anatômico foi um desses pontos, essencial para procedimentos de orientação e de simulações. Foi então que surgiu este trabalho.

O primeiro estudo realizado foi sobre a anatomia do esôfago e quais as regiões eram mais atingidas pelo câncer, já que o esôfago pode ser dividido em esôfago cervical, torácico e abdominal. Assim, como 96% dos casos são no esôfago torácico (INCA, 2005), pôde-se definir a região em que seria feito o corte axial, na altura da 8ª vértebra, identificando os órgãos e tecidos ao redor da região estudada.

O modelo foi desenvolvido, utilizando-se o *software coreDRAW* (REF), na versão 12, o Atlas de Anatomia Netter (NETTER, 20004), disponível em CD-ROM, com o auxílio do professor Pedro Mazza, da UNIFRA e do médico radiologista Carlos Sérgio Gama.

A densidade e composição dos órgãos e tecidos foram obtidas no sítio do *National Institute of Standards and Technology* (NIST, 2006). A relação de tamanho entre os órgãos e tecidos foi obtida por intermédio do médico radiologista Carlos Sérgio Gama, que baseou suas informações nas

chapas radiográficas utilizadas ao longo de sua carreira médica. A seguir, são apresentados os modelos obtidos para o corte axial da altura da 8ª vértebra.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

Os resultados dos procedimentos são apresentados a seguir, nas figuras 2 a 5. Esses modelos serão utilizados em simulações e na análise do melhor ângulo de incidência do feixe de nêutrons sem que afetem órgãos importantes do corpo humano.

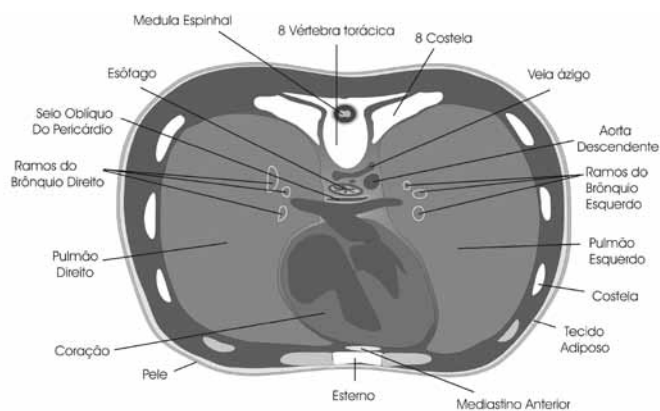


Figura 2 - Modelo anômico em corte axial da região do esôfago, na altura da 8ª vértebra.

Baseado nesse modelo, se o feixe de nêutrons for posicionado em frente ao paciente (incidência antero-posterior), órgãos importantes serão envolvidos, como apresentado na figura 3. Os valores aproximados das espessuras de cada órgão envolvido na incidência antero-posterior estão apresentados na tabela 1.

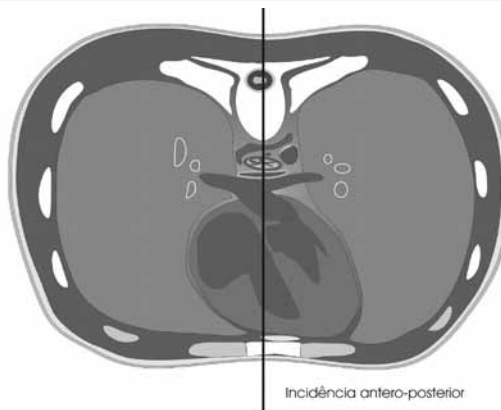


Figura 3 - Órgãos envolvidos na incidência antero-posterior

Tabela 1 - Espessuras dos tecidos envolvidos na incidência antero-posterior.

Órgão	Espessura (cm)
Total	20,0
Pele e tecido subcutâneo	0,8
Esterno	0,8
Coração	9,0
Tecido adiposo	0,6
Esôfago	1,5
Veia ázigo	3,5
Vértebra	1,6
Músculo	1,4
Tecido subcutâneo e pele	0,8

Se o feixe de nêutrons for posicionado lateralmente ao paciente, órgãos importantes também serão envolvidos, conforme mostra a figura 4. Os valores aproximados das espessuras de cada órgão envolvido na incidência lateral estão apresentados na tabela 2.

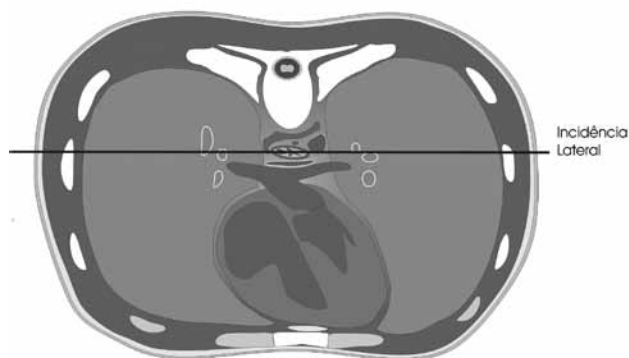


Figura 4 - Órgãos envolvidos na incidência lateral.

Tabela 2 - Espessuras dos tecidos envolvidos na incidência lateral.

Órgão	Espessura (cm)
Total	33,0
Pele e tecido subcutâneo	0,8
Músculo	3,0
Costela	1,0
Pulmão esquerdo	9,0
Veia	1,4
Esôfago	1,5
Aorta descendente	2,5
Pulmão direito	9,0
Costela	1,0
Músculo	3,0
Tecido subcutâneo e pele	0,8

Se o feixe de nêutrons for colocado na posição oblíqua ao paciente, um número menor de órgãos importantes será envolvido, como é apresentado na figura 5. Os valores aproximados das espessuras de cada órgão envolvido na incidência oblíqua estão apresentados na tabela 3.

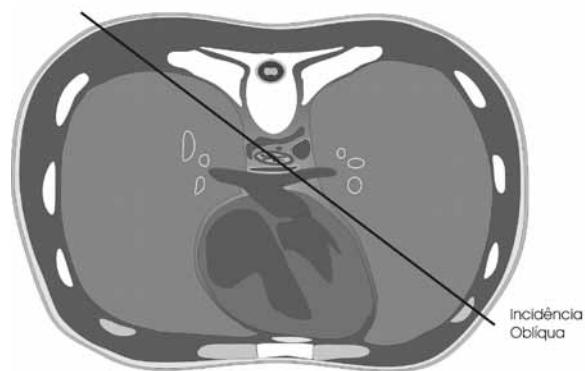


Figura 5 - Órgãos envolvidos na incidência oblíqua.

Tabela 3 - Espessuras dos tecidos envolvidos na incidência oblíqua.

Órgão	Espessura (cm)
Total	36,0
Pele e tecido subcutâneo	0,8
Músculo	4,0
Pulmão	6,0
Veia	1,4
Esôfago	1,5
Veias	4,0
Tecido adiposo	2,0
Pulmão	11,6
Costela	1,0
Músculo	3,0
Tecido subcutâneo e pele	0,8

Para a obtenção das seções de choque macroscópicas e microscópicas, serão necessários também valores da densidade dos tecidos e a sua composição em função de elementos da tabela periódica (com valores de percentuais). As densidades dos principais tecidos estão na tabela 4 e a sua

composição por elementos da tabela periódica está na tabela 5, obtidas no sítio do *National Institute of Standards and Technology* (NIST, 2006).

Tabela 4. Densidade dos materiais (órgãos e tecidos).

Tecido	Densidade (Kg/m ³)	Densidade (g/cm ³)
Sangue*	1060	1.060
Músculo	1050	1.050
Ossos	1920	1.920
Pulmão (Ar)	1050	1.050
Tecido adiposo	950	0.950

* No interior do coração.

Tabela 5. Composição por peso percentual dos tecidos e órgãos em termos de elementos da tabela periódica.

Tecido	Composição (em %)											
	H	C	N	O	Na	P	S	Cl	K	Fe	Mg	Ca
Sangue*	10,2	11,0	3,3	74,5	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	-	-
Músculo	10,2	14,3	3,4	71,0	0,1	0,2	0,3	0,1	0,4	-	-	-
Ossos	3,4	15,5	4,2	4,35	0,1	10,3	0,3	-	-	-	-	22,5
Pulmão	10,3	10,5	3,1	74,9	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	-	-	-
Tecido Adiposo	11,4	59,8	0,7	27,8	0,1	-	0,1	0,1	-	-	-	-

* Sangue do interior do coração.

A partir desses dados, é possível obter uma melhor orientação a respeito da localização do esôfago. Foi possível observar que o posicionamento oblíquo do feixe de nêutrons acarreta na irradiação de espessuras menores de órgãos importantes, sem irradiar a medula espinhal. Com base nesse estudo, é possível alimentar os parâmetros geométricos para cálculo no Código MCNP (BRIESMEISTER, 1997).

É possível também baseado neste estudo, propor um modelo unidimensional para cálculos neutrônicos, utilizando, por exemplo, o código ANISN (PARSONS, 1988). Um exemplo está na figura 6 cuja legenda está descrita no quadro 1. As dimensões de cada região estão no tabela 3.

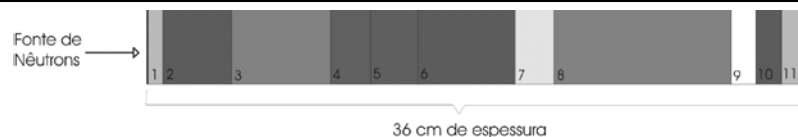


Figura 6 - Modelo linear do trajeto do feixe de nêutrons com entrada oblíqua.

Quadro 1. Legenda utilizada na figura 6.

Região	Estrutura	Região	Estrutura
1	Pele e tecido subcutâneo	7	Tecido adiposo
2	Músculo	8	Pulmão
3	Pulmão	9	Costela
4	Veias	10	Músculo
5	Esôfago	11	Tecido subcutâneo e pele
6	Veias		

A etapa seguinte deste trabalho será dividida em duas partes. A primeira é a geração de um banco de dados nucleares, como por exemplo, as seções de choque para nêutrons para os tecidos e órgãos envolvidos no tratamento do câncer de esôfago. A segunda é realizar simulações computacionais do transporte de nêutrons no modelo das figuras 2 e 6. Para tanto, será preciso adquirir os códigos computacionais NJOY (RSICC, 2006) e o código MCNP, baseado em Monte Carlo. Também está prevista, para trabalhos futuros, a criação de um programa que retire os dados da imagem tomográfica e converta para informações sobre órgãos e espessuras de cada paciente, já que a anatomia de cada paciente varia e o modelo proposto é uma medida padrão que poderá ser utilizada somente para estudos iniciais e não para tratamentos.

REFERÊNCIAS

ANATOMIA DO ESÔFAGO. Disponível em: <http://www.compuland.com.br/anatomia/esofago.htm>. Acesso em: maio de 2006.

BRIESMEISTER, J. F. MCNP **A general Monte Carlo N-particle Transport Code – Version 4B**. Oak Ridge, TN-USA, 1997.

HALL, E. J. **Radiobiology for the radiogist**. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, cap. Alternative Radiation Modalities, 5. ed. p. 419–431, 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER - INCA. **O câncer de esôfago**. Disponível em: http://www.inca.gov.br/conteudo_view.asp?id=328. Acesso em: 20 de dezembro de 2005.

KRINDGES, A. B. et al. Simulação do Transporte de Nêutrons com dois Grupos de Energia, em Meio Aquoso, Visando Estudos sobre BNCT. In: IX SIMPÓSIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO E I SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2005, Santa Maria. **Anais ...** 2005. v. 1, p. 322.

KRINDGES, A. B. et al. Simulação do Transporte de Nêutrons, em Meio Aquoso, Visando Estudos sobre BNCT. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE FÍSICA MÉDICA, 2006, Ribeirão Preto, SP. **Apresentação oral**, 2006.

KULLBERG, E. B. **Tumor Cell Targeting of Stabilized Liposome Conjugates**. Tese (Doutorado) - Uppsala University, Uppsala, Sweden, 2003.

LEWIS, E. E.; MILLER, J. W. F. **Computational Methods of Neutron Transport**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1984.

NETTER, Frank H. **Atlas de anatomia humana** - 3. ed. Artmed, 2004.
National Institute of Standards and Technology - NIST. **Physical Reference Data. X-RAY MASS ATTENUATION COEFFICIENTS and Mass-Energy-Absorption Coefficients**. Disponível em: <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab2.html>. Acesso em: 18 de maio de 2006.

PARSONS, D. K. **ANISN/PC Manual**. Idaho Falls: Idaho. 1988.

ORENGO, G. et al. Comunicação: projeto de implantação da terapia por captura de nêutrons pelo boro usando o Gerador de Nêutrons. In: ALFIM-ABFM. **Proceedings of III Iberian Latin American and Caribbean Regional Congress of Medical Physics – IX Brazilian Congress of Medical Physics**. Rio de Janeiro – Brasil, p. 46, 2004.

ORENGO, G.; BATTISTEL, O. L.; GRAÇA, C. de O. Estudo de termalização de nêutrons de 14 MeV, oriundos da reação DT produzida no Gerador de Nêutrons/UFSM, para uso em BNCT. In: ABFM. **Proceedings of X Congresso de Física Médica**. Salvador, Bahia, Brasil, 2005.

RADIATION SAFETY INFORMATION COMPUTATIONAL CENTER - RSICC. **Package Index: NJOY99.0**. Disponível em: <http://www-rsicc.ornl.gov/>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2006.