

CARACTERIZAÇÃO DE FONTES DE Co-60 PARA TRATAMENTO DE TUMORES OFTÁLMICOS UTILIZANDO O CÓDIGO MCNP-4C

Andrea Sanchez e Adimir dos Santos

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP)
Av. Professor Lineu Prestes 2242
05508-000 São Paulo, SP
asanchez@ipen.br e asantos@ipen.br

RESUMO

Fontes oftálmicas utilizadas para o tratamento de tumores oftálmicos precisam ser periodicamente controladas para que se tenha certeza da dose administrada durante o tratamento. Para isso, simulou-se, através do código de Monte Carlo, MCNP-4C um olho humano com todas as estruturas de composição e uma fonte oftálmica de Co-60 de modelo CKA-4 da Amershan. Com esse simulador, tornou-se possível a determinação da dose em profundidade no centro do olho, além da obtenção da dose em estruturas como retina, coróide, lente, etc. Para comprovação das doses obtidas pelo MCNP-4C, foram realizadas medidas com filmes radiográficos do tipo X-OMAT V da Kodak, com a placa de Co-60 CKA-4 em um simulador de acrílico. O levantamento de dados com o filme permitiu a construção de uma curva de densidade óptica versus a distância da fonte. Essa curva pode ser comparada com a curva da dose versus a distância da fonte obtida com o código MCNP-4C.

1. INTRODUÇÃO

Tumores oculares do tipo retinoblastoma e melanomas [1-3] são comuns na rotina diária dos grandes hospitais. Como tratamento para esses tipos de tumores destacam-se dois procedimentos: a enucleação e a braquiterapia através de placas oftálmicas. A enucleação [4] consiste na retirada completa do olho afetado; essa prática é evitada ao máximo a fim de preservar a visão do paciente e, somente é realizada, caso o tumor não responda mais a nenhum tipo de terapia. A braquiterapia é a terapia a base de radioisótopos dispostos em placas projetadas anatomicamente para uso oftálmico que são alojadas logo acima da base do tumor. Essas placas podem ser confeccionadas em platina ou ouro e, são preenchidas por radioisótopos como Co-60 [5-7], I-125 [8,9], Ru-106 [10,11], Ir-192 [10], etc. A geometria da fonte depende do radioisótopo utilizado e, a escolha desta é função das suas características, tais como: energia, meia-vida, camada semi-redutora, constante de taxa de exposição, além de sua disponibilidade no mercado. A utilização dessas placas é realizada de acordo com o tamanho, profundidade e tipo de tumor apresentado pelo paciente e depende, principalmente, da distribuição de dose desejada pelo médico.

Essas placas são importadas e seu custo muito elevado. Atualmente são poucos os hospitais que possuem esse tipo de placa e, também, profissionais especializados neste tipo de tratamento. Além disso, a inexistência de instrumentos projetados para a simulação do olho, faz com que os procedimentos de braquiterapia sejam baseados em tabelas de distribuição de dose obtidas pela literatura existente [5,6], sem que se proceda periodicamente a checagem e análise dos perfis da radiação emitida [12] pelas placas utilizadas.

Neste trabalho serão apresentados resultados provenientes de um simulador matemático desenvolvido através do código de Monte Carlo [13], MCNP-4C. Esse simulador foi

construído com base nas informações das características físicas de um olho humano adulto e com as características físicas da placa de Co-60 (CKA-4) utilizada para o tratamento de alguns tipos de tumores oftálmicos. Além disso serão apresentados resultados obtidos através de experimentos realizados com um simulador de olho em acrílico, utilizando-se filmes radiográficos do tipo X-OMAT V da Kodak, que servem como comprovação para os dados obtidos com o código MCNP-4C[14].

2. METODOLOGIA DE CÁLCULO

O Método de Monte Carlo [13] é uma técnica de simulação numérica para transporte de partículas. A simulação de um sistema de fontes e absorvedores envolve a seleção randômica de um evento (trajetória ou “história” de uma partícula ou fóton) de um conjunto de todos os possíveis eventos dados, regidos pela equação de transporte. Desta forma, este método trata o transporte de radiação como um fenômeno estocástico, onde o conceito de seção de choque representa a probabilidade de interação da radiação com o meio. Uma ilustração simplificada do método pode ser vista na Fig. 1 em forma de um fluxograma de cálculo. O programa de Monte Carlo é baseado em um gerador de números randômicos utilizados para amostragem dos vários fenômenos físicos que ocorrem durante o transporte de partículas. Distribuições e densidades de probabilidades conhecidas e relacionadas com o processo referente ao fenômeno físico, também são utilizadas no programa. O resultado da simulação é expresso em termos de valores médios que estão relacionados com grandezas físicas de interesse como fluxo de partículas, deposição de energia por radiação ou dose.

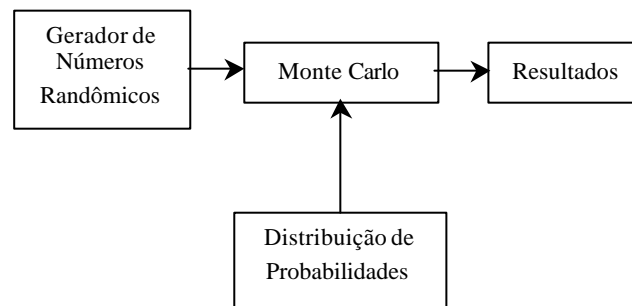


Figura 1 – Ilustração simplificada da utilização do Método de Monte Carlo.

2.1. O CÓDIGO MCNP

O código MCNP-4C [14] (A General Monte Carlo N-Particle Transport Code System) é um programa mundialmente conhecido e utilizado em vários tipos de projetos e pesquisas em transporte de radiação envolvendo nêutrons, fótons e elétrons. Este código possui um potencial que permite trabalhar com geometrias tridimensionais genéricas, o que o torna uma ferramenta muito poderosa em cálculos onde a geometria não pode ser representada por formas regulares como cubos, esferas e cilindros. O código possui uma biblioteca de seções de choque em energias contínua e discreta dependendo das necessidades de cálculo. Além disso, permite especificar uma variedade bem ampla de fontes dependentes da energia, posição e direção.

Além do método análogo, este programa oferece uma vasta opção de técnicas não análogas que objetivam aumentar a eficiência de cálculo reduzindo-se o tempo de processamento computacional através das técnicas de redução de variância.

2.2. MODELAGEM DO OLHO NO MCNP

O primeiro passo para o projeto do simulador é realizar os cálculos para a distribuição de dose através de um modelo que reproduza fielmente todas as características do olho humano. Para isso simulou-se, através do código MCNP, um olho em tamanho real, contendo uma massa tumoral e exposto à radiação proveniente de uma placa oftálmica.

Os olhos foram modelados como uma esfera [15]. Ambos estão localizados na parte superior da região da face e têm como volume total, 15,2 cm³. A equação utilizada para representar os olhos é dada por:

$$(x \pm 3,40)^2 + (y + 7,50)^2 + (z - 84,2)^2 \leq 1,22^2 \quad (1)$$

onde 3,40, 7,50 e 84,2 cm são os deslocamentos para o centro do olho em relação ao corpo humano referentes à x, y e z, respectivamente, e 1,22 cm é o raio do olho.

Variando-se o raio da Eq. (1), tem-se que a região de raio variando entre 0 e 0,92 cm é definida como corpo vítreo, a região entre 0,92 e 1,02 como retina, entre 1,02 e 1,12 como coróide e entre 1,12 e 1,22 como esclera. O tumor foi modelado na forma de uma elipsóide dada pela equação 2 [16]:

$$\frac{(x - x_0)^2}{a^2} + \frac{(y - y_0)^2}{b^2} + \frac{(z - z_0)^2}{c^2} = 1 \quad (2)$$

onde a, b e c são definidos na Fig. 2.

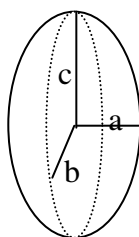


Figura 2 – Definição dos parâmetros a, b, e c de uma elipsóide.

A localização do tumor dentro do olho foi definida através das coordenadas $x_0 = 3,4$, $y_0 = 7,5$ e $z_0 = 89,42$. O deslocamento em z_0 deve-se ao fato de que o tumor é representado somente pela metade da elipse.

A córnea e a lente do olho também foram definidas utilizando-se a Eq. (2), variando-se suas localizações através de deslocamentos em suas coordenadas.

Definiu-se o nervo óptico através de um cilindro cortado por um plano e pela esfera que representa a esclera. Rotacionou-se esse cilindro em 30°.

A camada de platina que envolve a fonte de Co-60 foi definida por uma casca esférica dada pela Eq. (1) com raio 1,42 cm, delimitada por um cilindro de raio 0,85 cm. Dentro desta casca esférica concentra-se uma folha de Co-60 de espessura 0,06 cm e mais dois anéis de igual espessura. Entre os anéis e a folha de Co-60 foi considerado vácuo. Essa modelagem para a placa oftálmica descreve o aplicador de marca Amersham CKA4.

A Fig.3 mostra em detalhes a modelagem confeccionada para a realização dos cálculos pelo código MCNP-4C.

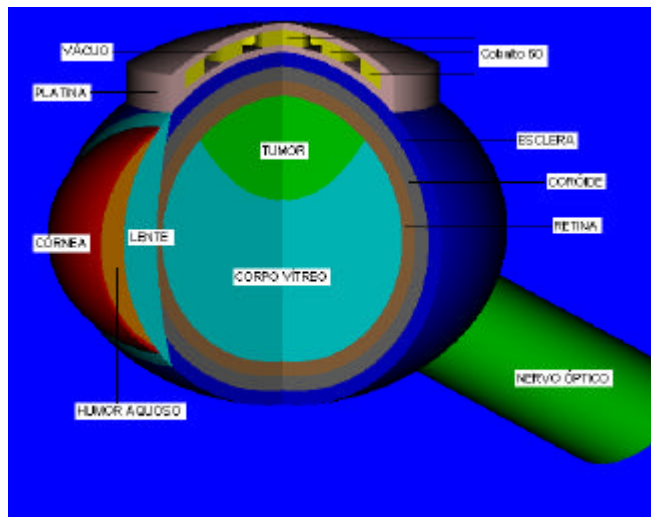


Figura 3 – Modelagem confeccionada para o olho humano com placa oftálmica.

Todas as estruturas do olho foram consideradas como sendo formadas por tecido mole. A atividade da fonte considerada foi de 117,3 MBq, seguindo especificação do fabricante para a placa oftálmica do tipo disco CKA4.

As doses calculadas foram obtidas para pequenos volumes ($1,6 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$) localizados no centro do olho variando cerca de 0,04 mm entre eles a partir da placa oftálmica. Essas doses foram comparadas com a distribuição de dose especificada pelo fabricante das placas oftálmicas. Também foram calculadas as doses nas células que representam o corpo vítreo, a retina, a coróide, a esclera, o tumor, a córnea, o humor vítreo, o nervo ótico e a lente. Porém, não foram encontrados na literatura trabalhos com cálculos de dose no olho com tantos detalhes como foram apresentados nesta modelagem. Em geral, os modelos somente contém a esclera, coróide, retina e o tumor, além da placa, e dessa maneira, somente estima-se a dose distribuída nessas regiões. A Fig 4 ilustra 3 tipos de placas oftálmicas de Co-60 da marca Amersham.



Figura 4 – Foto de três tipos de placas oftálmicas de Co-60.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para a realização do experimento foi construído um simulador de acrílico com uma esfera de diâmetro 22 mm. Essa esfera foi fatiada do topo ao centro em 11 camadas de 1 mm de espessura cada. A esfera fica acomodada em um suporte de acrílico com um sistema de fixação simulando uma morsa, também em acrílico.

No experimento foi utilizada uma placa oftálmica de Co-60 do tipo CKA-4 da Amershan de propriedade do Departamento de Radioterapia do Hospital AC Camargo. Essa placa é fixada acima da primeira fatia de acrílico. Um filme radiográfico do tipo X-OMAT V da Kodak é colocado no lugar de uma das fatias de acrílico e exposto à fonte por 30 minutos. O filme foi colocado nas seguintes posições: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 mm de distância da placa de Co-60. Essas posições representam as mesmas posições para o cálculo de dose profunda simuladas com o código MCNP-4C. Foram realizadas 10 medidas em cada uma das posições.

Após a exposição dos filmes, foi realizada a leitura das densidades ópticas com o densitômetro PTW-Densix de propriedade do Hospital AC Camargo. Foram lidos 10 pontos para cada uma das exposições e calculada uma média da densidade para cada exposição.

4. RESULTADOS

O código MCNP-4C foi rodado para 150.000.000 de histórias, simulando o caso idêntico ao experimento: uma placa oftálmica de Co-60 acima de uma esfera de acrílico e foram calculadas as doses para as seguintes posições: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 mm de distância da placa. A tabela 1 mostra a dose profunda obtida dessa simulação.

TABELA 1 – Doses Profundas simuladas para a placa de Co-60.

Distância da Fonte (mm)	Energia	Dose (Gy/Bq.s)
11	1.87666E-03	6.0128186E-14
10	2.18097E-03	6.9878279E-14
9	2.56296E-03	8.2117238E-14
8	3.01070E-03	9.6462828E-14
7	3.59812E-03	1.1528376E-13
6	4.33077E-03	1.3875787E-13
5	5.26193E-03	1.6859224E-13
4	6.43426E-03	2.0615369E-13

Dos experimentos realizados no Hospital AC Camargo com a placa de Co-60 (CKA-4) utilizando-se o simulador de acrílico e o filme radiográfico X-OMAT V, foram obtidas as densidades ópticas. Foram utilizados dois lotes de filmes distintos. Na tabela 2 apresentam-se as densidades ópticas médias para os lotes 1 e 2 de filmes radiográficos e também as doses obtidas com o código MCNP-4C. Todos os dados foram normalizados para que pudessem ser comparados, uma vez que tratam-se de unidades diferentes.

TABELA 2 – Densidades ópticas e Doses médias normalizadas.

Distância da Fonte (mm)	MCNP	Desvio Padrão	Lote 1	Desvio Padrão	Lote 2	Desvio Padrão
4	1	0.0018	1	0	1	0
5	0.82	0.00164	0.798	0.03271	0.818	0.03271
6	0.67	0.00147	0.654	0.0251	0.652	0.01924
7	0.56	0.00134	0.574	0.0305	0.546	0.0305
8	0.47	0.00122	0.522	0.03834	0.444	0.02881
9	0.4	0.00112	0.454	0.03435	0.374	0.02966
10	0.34	0.00102	0.356	0.02302	0.318	0.0228
11	0.29	$9.6 \cdot 10^{-4}$	0.326	0.02881	0.294	0.01817

Os dados das tabelas 1 e 2 foram plotados em um mesmo gráfico para comparação do perfil das curvas. A Figura 5 traz a comparação desses dados experimentais e calculados.

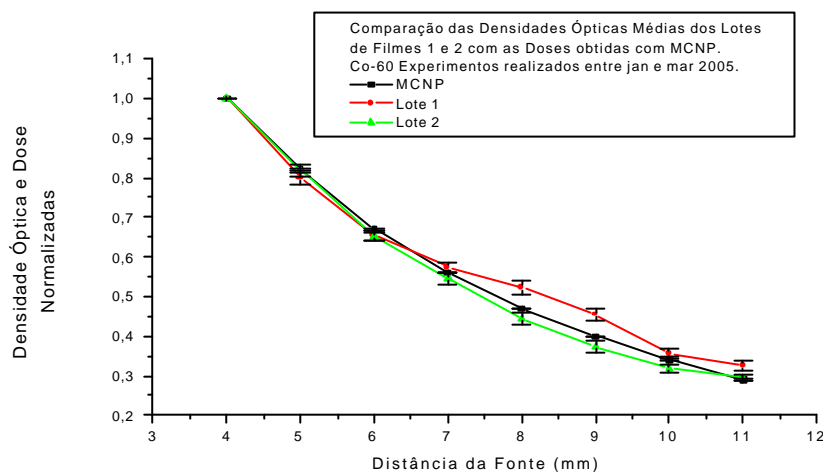


Figura 5 – Comparação das doses e densidades ópticas obtidas via cálculo e experimento para diversas profundidades.

Analisando-se os resultados do gráfico da Figura 5, pode-se verificar que o perfil a dose obtida com a simulação com o código MCNP-4C tem o mesmo comportamento dos perfis das densidades ópticas obtidas dos filmes utilizados nos experimentos. É perceptível que a curva relativa aos filmes do Lote 2 se aproxima mais da curva relativa aos dados do MCNP-4C.

5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir dos resultados apresentados, que a simulação com o código de Monte Carlo MCNP-4C, produz resultados compatíveis com os obtidos através do experimento realizado. Houve uma discrepância nos dados obtidos com os filmes dos Lotes 1 e 2, que podem ser relacionados com a validade ou acondicionamento dos filmes do Lote 1. Estão sendo realizados novos experimentos com filmes do Lote 2 para melhorar a estatística dos dados obtidos. Novos cálculos e experimentos com placas de I-125 serão realizados para a validação da simulação proposta.

REFERÊNCIAS

- [1] Halperin, E.C., et al; ***Retinoblastoma and optic glioma***, Neuroblastoma; In:Halperin, E.C., et al – Pediatric Radiation Oncology, 1 ed. New York, Raven Press, 1989, p.108-160.
- [2] Perez, C.A., et al; ***Unusual nonepithelial tumor of the head and neck***; In: Perez, C. A.; Brady, L.W. – Principles and practice of radiation oncology, 2 ed. Philadelphia, J.B. Lippincott, 1992.
- [3] Tapley, N.; ***Eye and Orbit***; In: Fletcher, G.H. – Textbook of radiotherapy, 3 ed. Philadelphia, Lea & Febiger, 1980, p.499-526.
- [4] Moshfeghi, D.M.; Moshfeghi, A.A. and Finger, P.T.; ***Eucleation***;Survey of the Ophthalmology, Volume 44, Number 4, January-February 2000.
- [5] Casebow, M.P.; ***The calculation and measurement of exposure distributions from Co-60 ophthalmic applicators***; Brithish Journal of Radiology, 44, 618-624, 1971.
- [6] Chan, B.; Rotman, M. and Randall, G.J.; ***Computerized Dosimetry of Co-60 Ophthalmic Applicators***; Radiology 103, 705-707, june 1972.
- [7] Shields, J. A.; ***Cobalt Plaque Therapy of Posterior Uveal Melanomas***; Ophtalmology, v. 89, p. 1201-7, 1982 .
- [8] Chiu- Tsao, S.T.; Anderson, L.L.; O'Brien, K.; Stabile, L. and Liu, J.C.; ***Dosimetry for I-125 seed (model 6711) in eye plaques***; Med. Phys. 20(2), Pt. 1, Mar/Apr 1993.
- [9] Quivey, J.M.; Augsburger, J.; Snelling, L. and Brady, L.W.; ***I-125 Plaque Therapy for Uveal Melanoma***; 77th Meeting of the American Radium Society, Paris, France, April 29-May 3, 1995.
- [10] Gerard, J.P.; Romestaing, P.; Sentenac, I. and Laroche, G.; ***Ruthenium-106 and Iridium-192 Brachytherapy in the Choroidal Melanoma***; Proceedings of the 5th International Selectron User's Meeting - The Netherlands, p. 418-424, 1989.
- [11] Kreusel, K.M.; Bornfeld, N.; Lommatzsch, A.; Wessing, Achim and Foerster, M.H.; ***Ruthenium-106 Brachytherapy for Peripheral Retinal Capillary Hemangioma***; Ophthalmology, Volume 105, Number 8, August 1998.
- [12] Liquorish, R.A.C.; ***Calibration of Co-60 eye applicators – a change in the values of “design activity”***; boletim técnico: Physics Section – The Radiochemical Centre Ltd., p. 6, 1973.
- [13] Yoriyaz, H.; ***Desenvolvimento de uma Metodologia Computacional – Cálculos em Dosimetria Interna***; Tese de Doutorado, IPEN, Julho de 2000.
- [14] Briesmeister, J.F.; ***MCNP – A general Monte Carlo N-Particle transport code, version 4B***; Los Alamos National Laboratory Report, LA-12625-M, 1997.
- [15] Bouchet, L.G., Bolch, W.E., Weber, D.A., Atkins, H.L. and Poston, John W., Sr; ***MIRD Pamphlet N° 15: Radionuclide S Values in a Revised Dosimetric Model of the Adult Head and Brain***; The Journal of Nuclear Medicine, Vol. 40, N° 3, March 1999.

[16] Spiegel, M.R.; *Manual de Fórmulas e Tabelas Matemáticas*; Coleção Schaum, McGraw-Hill.

[17] Liu, C.C.; *Effects of Gama Radiation on Various Polyimides*; Journal of the Chinese Chemical Society, 47, 583-588, 2000.

[18] Fernandes, M.A.R.; *Utilização de moldes radioativos especiais de folhas de ouro-198 para braquiterapia em tumores de pele*; Tese de Doutorado, IPEN-São Paulo (2000).