

Uso da biblioteca para baixas energias no programa GATE: avaliação sobre o coeficiente de atenuação mássico efetivo

Validation of use of the low energies library in the GATE program: assessment of the effective mass attenuation coefficient

Jackson Argenta¹, Gabriela Hoff², Cláudia R. Brambilla¹, Ana Maria Marques da Silva¹

¹Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC-RS); Núcleo de Pesquisa em Imagens Médicas da Faculdade de Física – Porto Alegre (RS), Brasil.

²PUC-RS; Grupo de Experimentação e Simulação Computacional em Física Médica da Faculdade de Física – Porto Alegre (RS), Brasil.

Resumo

O programa *Geant4 application for emission tomography* (GATE) é uma ferramenta versátil para simulações de imagens de medicina nuclear, como SPECT e PET. O GATE se beneficia das bibliotecas de processos físicos, da descrição de geometria dos detectores, do rastreamento de partículas através de materiais, da configuração de resposta de detectores e das ferramentas de visualização oferecidas pelo GEANT4. Uma das bibliotecas utilizadas para simular as interações eletromagnéticas no GATE é a *low energy electromagnetic processes* (LEP). O objetivo deste trabalho foi verificar o uso da biblioteca LEP pelo GATE (versão 4.0) nas simulações de barreiras em Medicina Nuclear. Foram realizadas simulações envolvendo uma fonte pontual monodirecional e monoenergética emitindo fótons de 140 keV por meio de barreiras de espessuras variáveis de água e chumbo. Os resultados mostraram concordância com o modelo teórico, indicando que o GATE utiliza corretamente a biblioteca LEP.

Palavras-chave: simulação por computador; radiação; método de Monte Carlo.

Abstract

Geant4 Application for Emission Tomography program (GATE) is a versatile toolkit for nuclear medicine simulations of SPECT and PET studies. GATE takes advantage of well-validated libraries of physics processes models, geometry description, tracking of particles through materials, response of detector and visualization tools offered by Geant4 (version 4.0). One package available to simulate electromagnetic interactions is low energy electromagnetic processes (LEP). The purpose of this work was to evaluate the LEP package used by GATE 4 for nuclear medicine shielding simulations. Several simulations were made involving a monodirectional and 140 keV monoenergetic point source beam, passing through barriers of variable thickness of water and lead. The results showed good agreement with the theoretical model, indicating that GATE 4 uses correctly the LEP package.

Keywords: computer simulation; radiation; Monte Carlo method.

Introdução

Simulações utilizando o método de Monte Carlo (MC) têm sido amplamente utilizadas em estudos para tomografia por emissão de pósitrons (PET) e tomografia computadorizada por emissão de fótons (SPECT)¹. O programa GATE - versão 4.0 (*Geant4 application for emission tomography*) combina as vantagens da ferramenta Geant4 (*Geometry and Tracking 4*)², com ferramentas computacionais dedicadas para imagens de medicina nuclear, como cintilografia plana, SPECT e PET^{3,4}.

Para simular processos eletromagnéticos no GATE, duas bibliotecas estão disponíveis: *Standard energy electromagnetic processes* (SEP) e *low energy electromagnetic processes* (LEP). Com a biblioteca SEP é possível simular interações de absorção fotoelétrica e espalhamento Compton com energias acima de 10 keV. A atual versão do pacote LEP permite que os processos sejam simulados com energias a partir de 250 eV estendendo-se até 100 GeV, cobrindo os elementos com número atômico (Z) de 1 a 99.

Todos os processos envolvem duas fases distintas: o cálculo da secção de choque total e a geração do estado

Correspondência: Ana Maria Marques da Silva – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – Faculdade de Física – Avenida Ipiranga, 6681, Pr. 10 – CEP 90619-900 – Porto Alegre (RS), Brasil – E-mail: ana.marques@pucrs.br

final. Os dados utilizados para a determinação das seções de choque e para a amostragem do estado final são extraídos de um conjunto de dados distribuído livremente⁵: *evaluated photons data library* (EPDL97), *evaluated electrons data library* (EEDL), *evaluated atomic data library* (EADL), dados do poder de freamento e valores das bandas de energia baseados nos dados de Scofield⁶.

O objetivo deste trabalho foi verificar o uso da biblioteca LEP pelo GATE (versão 4) na simulação de materiais utilizados em barreiras de diferentes espessuras.

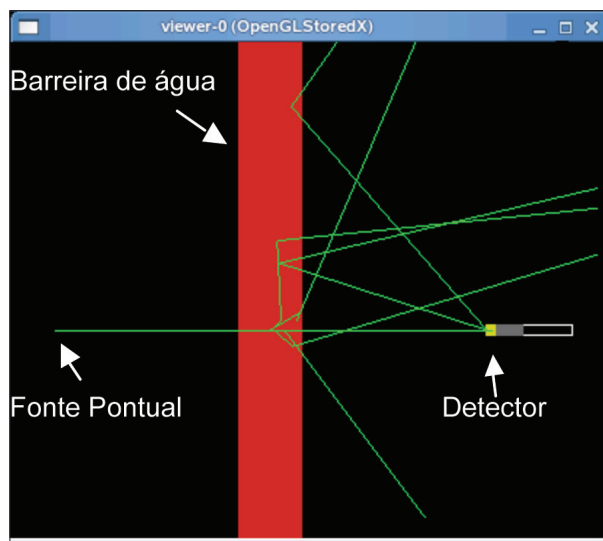


Figura 1. Geometria do sistema simulado.

Tabela 1. Característica dos detectores. Janela de energia centrada em 140 keV.

Detector	Dimensões (cm)			Janela de Energia (keV)	
	X	Y	Z	Limite Inferior	Limite superior
DetP	1	1	0.95	133	147
DetP2	1	1	0.95	1	200
DetG	699	699	0.95	1	200

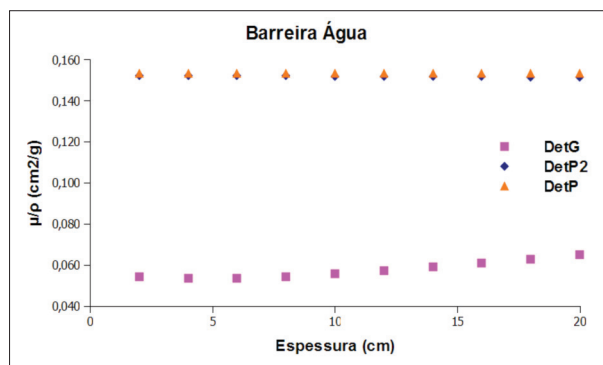


Figura 2. Coeficiente de atenuação mássico efetivo calculado para as espessuras da barreira de água e detectores simulados ($0,1530 \pm 0,0001 \text{ cm}^2/\text{g}$). Para 140 keV, o valor teórico de μ/ρ é $0,154 \text{ cm}^2/\text{g}$ ⁷.

Materiais e métodos

Foram realizadas simulações de MC no programa GATE, utilizando uma fonte pontual, monoenergética, posicionada a 20 cm do centro do mundo, com atividade de 0.1 GBq, emitindo fótons gama de 140 keV ($\text{Tc}^{99\text{m}}$) em uma única direção. O mundo foi definido com dimensões $700 \times 700 \times 700 \text{ cm}^3$, preenchido por vácuo. Uma barreira de dimensões $200 \times 200 \text{ cm}^2$ foi posta no centro do mundo. O material escolhido para a barreira foi água e a espessura variou de 2 cm a 20 cm em passos de 2 cm (Figura 1). Os fótons que atravessaram a barreira foram coletados de três formas; cada uma utilizando um detector, de NaI(Tl) diferente, posicionado a 40 cm da fonte pontual. As características dos detectores são mostradas na Tabela 1. A mesma simulação foi feita definindo o material da barreira como chumbo, com a espessura variando de 0,02 cm a 0,20 cm em passos de 0,02 cm.

Os processos físicos envolvendo interações gama (efeito fotoelétrico, espalhamento Compton e espalhamento Rayleigh) foram modelados usando a biblioteca LEP.

Ao todo foram realizadas 60 (sessenta) simulações na versão 4 do GATE, sendo o tempo computacional total gasto aproximadamente de 480 h utilizando uma CPU Pentium Intel Xeon 1.60 GHz Quad-core 64-bit.

Resultados

Através do número de fótons coletados e da espessura da barreira, o coeficiente de atenuação mássico efetivo foi calculado pela Equação 1:

$$I = I_0 e^{-((\mu/\rho) \cdot x \cdot \rho)} \quad (1)$$

onde x é a espessura da barreira, μ/ρ é o coeficiente de atenuação mássico efetivo (cm^2/g), ρ é a densidade do material, I é o número de fótons coletados e I_0 é o total de fótons emitidos pela fonte. O valor de I_0 foi obtido com uma simulação do sistema sem barreira, para cada detector. Os resultados são apresentados nas Figuras 2 e 3.

Devido ao grande número de dados gerados não foi possível construir o espectro de energia dos fótons coletados para cada simulação.

Discussão e conclusões

A geometria dos detectores DetP2 e DetP, de menor área, favoreceu a coleta dos fótons que não sofreram espalhamento. Isto manteve a energia média do feixe atenuado próxima a 140 keV. Os valores apresentados na Figura 2 e Figura 3 para esses detectores não mostraram diferenças significativas em relação aos valores teóricos de $0,154 \text{ cm}^2/\text{g}$ para água e $2,39 \text{ cm}^2/\text{g}$ para chumbo, para fótons de 140 keV⁷.

Devido à grande área do detector DetG, todos os fótons espalhados foram coletados nesta configuração. A Equação 1 exclui qualquer fóton que interage de alguma forma com a barreira. Quando esta equação é utilizada, considerando os dados gerados pelo DetG, o valor calculado do μ/ρ mostra como os fótons espalhados afetam a energia média do feixe atenuado. No caso da barreira de água, de Z igual a 10, efeitos de espalhamento são predominantes, mantendo o valor de μ/ρ baixo. No caso da barreira de chumbo, de Z igual a 82, o efeito fotoelétrico é predominante⁴. Dessa forma, os valores de μ/ρ tendem a aumentar, porque à medida que a espessura da barreira aumenta, apenas os fótons que não interagem atravessam a barreira e são coletados, fazendo com que a energia média do feixe atenuado aumente.

O pacote LEP utiliza os valores de secção de choque obtidos a partir de um grupo de bibliotecas. A secção de choque depende da energia da partícula incidente, da composição do material o tipo de interação sofrida (efeito fotoelétrico, espalhamento Compton e espalhamento Rayleigh). Estas secções de choque parciais são somadas para formar a secção de choque total. A razão entre a secção de choque parcial e a total resulta na probabilidade de uma interação em particular ocorrer. A probabilidade de um fóton com uma energia E sofrer uma absorção fotoelétrica ou um espalhamento quando atravessa uma camada de material Z pode ser expressa quantitativamente em termos do coeficiente de atenuação. Baseado neste fato, os resultados apresentados mostram coerência interna, indicando que o GATE, versão 4, utiliza corretamente a biblioteca LEP, em concordância com os valores teóricos.

Agradecimentos

Este trabalho teve o apoio do Fondo Regional para La Inovacion Digital de La America Latina y Caribe (FRIDA) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

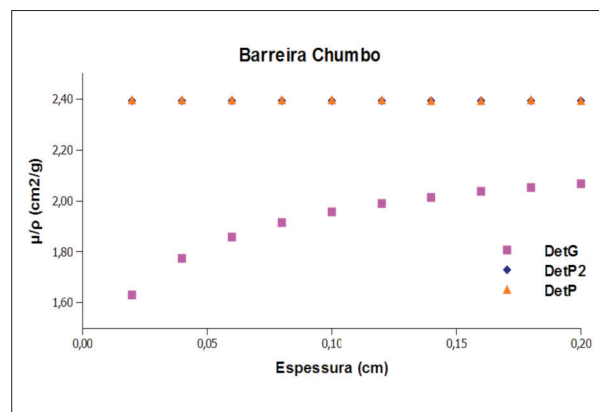


Figura 3. Coeficiente de atenuação mássico efetivo calculado para as espessuras da barreira de chumbo e detectores simulados ($2,3900 \pm 0,0004$ cm²/g). Para 140 keV, o valor teórico de μ/ρ é 2,39 cm²/g [7].

Referências

- Zaidi H. Relevance of accurate Monte Carlo modeling in nuclear medical imaging. *Med Phys.* 1999;26(4):574-608.
- Agostinelli S, Allison J, Amako K, Apostolakis H, Araujo H, Arce P. et al. Geant4: A simulation toolkit. 2003. [internet]. [cited 29 jul 2010]. Available from: <http://documents.cern.ch/cgi-bin/setlink?base=preprint&categ=cern&id=it-2002-003>.
- Santin G, Strul D, Lazaro D, Simon L, Krieguer M, Vieira Martins M, et al. GATE, a GEANT4-based simulation platform for PET integrating movement and time management. *IEEE Trans Nucl Sci* 2003;50:1516-21.
- Lazaro D, Breton V, Buvat I. Feasibility and value of fully 3D Monte Carlo reconstruction in Single Photon Emission Computed Tomography. *Nucl. Instrum. Methods A*, 527:195-200, 2004.
- Buvat I, Castiglioni I. Monte Carlo simulation in SPECT and PET. *Q J Nucl Med.* 2002;46(1):48-61.
- Scofield JH. Theoretical photoionization cross sections from 1 to 1500 keV. Lawrence Livermore National Laboratory, Report No. UCRL-51326; 1973.
- Attix FH. Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry. New York: Wiley-VCH;1986.

