

Determinação dos coeficientes de atenuação para feixes de raios x diagnóstico do PLA e do ABS impressos - uma abordagem por simulação com MCNP5

Determination of the attenuation coefficients for diagnosis x-ray beam of printed "PLA" and "ABS" - An approach by simulation with MCNP5

C. VALERIANO – caio144fisicamedica@gmail.com (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/CNEN)

G. VENEZIANI – venezianigr@gmail.com (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/CNEN)

M. GIGLIOLI - milenagiglioli@gmail.com (Hospital de Câncer de Barretos)

O. JÚNIOR – rodrijr@ipen.br (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/CNEN)

V. VÍTOLO – vivolo@ipen.br (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/CNEN)

W. S. SANTOS - williathan@yahoo.com.br (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/CNEN)

L. L. CAMPOS - lcredri@ipen.br (Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/CNEN)

PALAVRAS-CHAVE: coeficiente de atenuação, Método de Monte Carlo, impressora 3D

RESUMO: Modelos 3D de estruturas anatômicas podem ser obtidos por meio de técnicas de imageamento médico (ressonância magnética e tomografia computadorizada). Variando os materiais (p. ex. poliuretano e resina epóxi) utilizados em sua composição, é possível obter o contraste radiográfico ou a equivalência ao tecido desejado. A produção de objetos simuladores para pacientes específicos precisa preencher requisitos como a acurácia geométrica com a anatomia do indivíduo, a equivalência ao tecido, de modo que possam ser realizadas medidas utilizáveis, e não ser susceptível aos efeitos da radiação. A utilização de impressoras 3D é uma forma rápida de construção de objetos complexos, dessa forma é justificável estudar a viabilidade da impressão 3D para desenvolver objetos simuladores. Baseado nesse cenário, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a simulação desenvolvida, utilizando MCNP5, como ferramenta para a obtenção dos coeficientes de atenuação das placas feitas com material de impressora 3D.

KEYWORDS: Attenuation Coefficient, Monte Carlo Method 3D Printer

ABSTRACT: 3D models of anatomical structures can be obtained by medical imaging techniques (magnetic resonance imaging and computed tomography). Varying the materials (e.g. polyurethane and epoxy resin) used in its composition, it is possible to obtain the radiographic contrast or the equivalence to the desired tissue. The production of phantoms for specific patient needs to fill the geometric accuracy requirements as to the individual's anatomy, tissue equivalence, so that they can be usable to perform measures and not be susceptible to the effects of radiation. The use of 3D printers is a quick way to build complex objects, so it is justifiable the study of the feasibility of 3D printing to develop phantoms. Based on this scenario, the present study aims to validate the computer simulation (for MCNP5) of plates made with 3D printer material to be possible to study their respective attenuation coefficients.

1. INTRODUÇÃO

Modelos 3D de estruturas anatômicas podem ser obtidos por meio de técnicas de imageamento médico (ressonância magnética e tomografia computadorizada). Variando os materiais (p. ex. poliuretano e resina epóxi) utilizados em sua composição, pode ser obtido o contraste radiográfico ou a equivalência ao tecido desejado. A produção de objetos simuladores para pacientes específicos precisa preencher requisitos como: a acurácia geométrica com a anatomia do indivíduo; a equivalência ao tecido (de modo que se faça possível realizar medidas utilizáveis). e não ser susceptível aos efeitos da radiação.

Tido como código de propósito geral, o código MCNP (Monte Carlo N-Particle), baseado no método Monte Carlo, é capaz de simular o transporte de partículas, como nêutrons, fótons e elétrons, de forma conjunta ou individual, através da matéria. O código MCNP pode ser empregado em situações que vão desde o projeto de reatores nucleares até estudos em radiodiagnóstico.

Em um trabalho realizado por Veneziani e colaboradores foram obtidos experimentalmente os coeficientes de atenuação de placas de diversas espessuras de PLA e ABS impressas por uma impressora 3D Modelo UP PLUS 2, irradiadas com feixes de raios X diagnóstico com qualidades diversas (RQR 3, RQR 5, RQR 8 e RQR 10).

O presente trabalho tem por objetivo obter, por meio da simulação com Método de Monte Carlo, os coeficientes de atenuação do PLA e do ABS utilizados na impressora 3D, para avaliar se os mesmos podem ser utilizados para o desenvolvimento de objetos simuladores de aplicações diversas.

2. MÉTODO

Os objetos (placas) dos quais foram obtidos experimentalmente (por Veneziani e colaboradores) os coeficiente de atenuação foram impressos utilizando-se uma impressora 3D modelo UP Plus 2. Os materiais utilizados para a confecção das placas foram filamentos de ABS e de PLA próprios para a utilização na referida impressora. Segundo consta no manual do usuário, da impressora 3D utilizada, existe quatro formas de preenchimento das peças impressas (figura 1). No trabalho de Veneziani e colaboradores foram impressas placas consideradas como “quase-sólidas”.

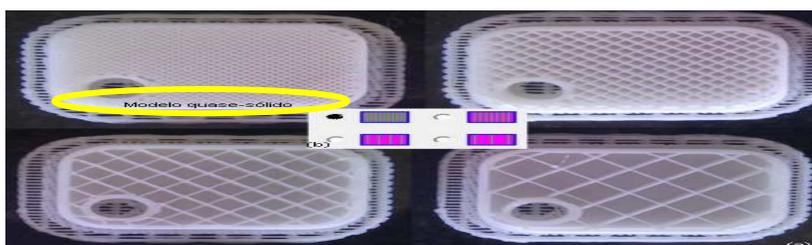


Figura 1. Modelo de placas Impressos na UP Plus 2 - (a) Modelo das quatro formas de preenchimento; (b) Painel de seleção (software) do modo de preenchimento desejado.

No presente trabalho foi simulado, por meio do código MCNP versão 5, um cenário de irradiação de placas compostas pelos materiais (PLA ou ABS) utilizados para impressão de objetos em uma impressora 3D Modelo UP Plus 2. Para que fosse realizada a simulação com o código MCNP5 se fazia necessário conhecer informações (p. ex. densidade) dos materiais que se desejava simular. Não foram encontradas, na literatura, informações confiáveis a cerca da composição exata e das respectivas densidades do PLA e do ABS. A determinação da composição foi feita por meio do uso da fórmula química (estrutura molecular) dos já referidos materiais. Com a massa de toda a fórmula foi calculada a porcentagem (aproximada) presente de cada elemento. No tocante à densidade, foi utilizado o Método de Arquimedes, que basicamente consistiu da pesagem, utilizando balança de precisão (Instrumentos Científicos C.G. Ltda), de

um becker com água destilada (sem corpos de prova de ABS ou PLA) e da pesagem do mesmo volume de água quando adicionado o corpo de prova (de PLA ou de ABS).

Na simulação com MCNP5 (este trabalho) as placas foram consideradas totalmente sólidas, pois não foi possível quantificar os espaços não preenchidos (por PLA ou ABS) nas placas impressas reais. De posse das características do aparelho (p. ex. ângulo anódico) de raio-x utilizado na irradiação experimental das placas (Laboratório de Calibração de Instrumentos – LCI/GMR/IPEN) foi desenvolvido o cenário utilizado na simulação. A fonte de raio-x empregada neste trabalho foi considerada como pontual e o seu espectro de emissão foi gerado através do IPEM-78 *Catalogue of Diagnostic X-Ray Spectra and other data*. Uma representação (fora de escala) da simulação utilizada neste trabalho pode ser vista na figura 2.

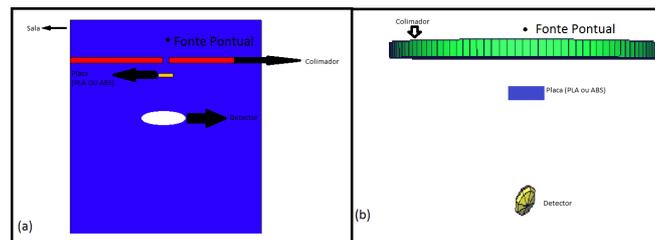


Figura 2. Modelo utilizado na simulação com MCNP5 (Imagem fora de escala) – (a) Visão 2D; (b) Visão 3D.

As simulações foram divididas em dois grupos. No primeiro grupo, foi simulada apenas a irradiação do feixe, sem a presença das placas do material da impressora (atenuador), de modo a que fosse possível que o detector fornecesse a intensidade inicial (I_0) do feixe. No segundo, várias simulações foram feitas, variando-se a espessura das placas de cada material (PLA ou ABS), de modo que o detector fornecesse a intensidade (I) do feixe após ser atenuado. Relacionando os resultados com e sem atenuador foi possível calcular os respectivos coeficientes de atenuação por meio da equação $I=I_0e^{-\mu x}$. Em cada cenário foi modificado o valor atribuído à densidade do material atenuador de modo a que os resultados obtidos por simulação (placas sólidas) melhor se adequassem aos obtidos experimentalmente (placas “quase-sólidas”).

3. RESULTADOS

A tabela 1 apresenta o comparativo entre os resultados obtidos neste trabalho (empregando MCNP5) e os obtidos experimentalmente.

Tabela 1 – Comparativo entre os valores obtidos empregando MCNP5 e os valores obtidos experimentalmente

Material	RESULTADOS							
	RQR3		RQR 5		RQR 8		RQR 10	
	Experimental	MCNP5	Experimental	MCNP5	Experimental	MCNP5	Experimental	MCNP5
ABS	0.02	0.0211	0.018	0.0185	0.016	0.0168	0.014	0.0149
PLA	0.029	0.0287	0.024	0.0239	0.021	0.0208	0.017	0.0179

Já era esperado que os resultados simulados apresentassem pequenas diferenças daqueles obtidos experimentalmente, uma vez que as placas irradiadas experimentalmente e as simuladas eram diferentes no que diz respeito ao preenchimento, sendo classificadas como quase-sólidas e sólidas respectivamente. Tais diferenças podem indicar a importância dos espaços vazios (não preenchidos de PLA ou ABS) nas placas impressas reais, os quais podem influenciar a atenuação e/ou o espalhamento do feixe de radiação.

De modo a adequar os resultados obtidos neste trabalho com aqueles obtidos experimentalmente, foi criado um fator de correção a partir da divisão entre o resultado obtido experimentalmente e o resultado obtido via simulação com MCNP5. Os valores dos fatores de correção obtidos podem ser vistos na tabela 2.

Tabela 2 – Fatores de correção

Material	RQR 3	RQR5	RQR 8	RQR10
ABS	0.946073794	0.973499189	0.950683304	0.938967136
PLA	1.009046625	1.002506266	1.007194245	0.945494994

Pode ser concluído, a partir dos resultados obtidos, que a simulação computacional desenvolvida representa adequadamente as placas confeccionadas em impressora 3D. Foi detectada também uma possível influência dos espaços não preenchidos, em placas impressas reais, na atenuação do feixe de radiação incidente. Sendo, por tanto, necessário um estudo mais aprofundado do comportamento do feixe de radiação na presença de objetos impressos 3D (em PLA ou ABS), de modo a que se possa afirmar que estes sejam utilizáveis na confecção de objetos simuladores de aplicações diversas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e à FAPESP Projeto no. 2010/16437-0 pelo apoio financeiro.

Referências

- KAIRN, T.; CROWE, S. B.; MARKWELL, T. Use of 3D Printed Materials as Tissue-Equivalent Phantoms. **IFMBE Proceedings**, p.728-731, 2015. Springer Science. DOI: 10.1007/978-3-319-19387-8_179.
- TELLES, L. F. K., SIMULAÇÃO MONTE CARLO DA DOSIMETRIA CLÍNICA EM RADIOTERAPIA USANDO ACELERADORES LINEARES. 2008. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências em Engenharia Nuclear, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Veneziani, G. R.; Correa, E.L.; POTIENS, M.P.A.; CAMPOS, L.L.. Attenuation coefficient determination of printed abs and pla samples in diagnostic radiology standard beams. In: 8º Congresso Brasileiro de Metrologia. 29 novembro à 4 de dezembro, 2015. Bento Gonçalves, RS.
- UP3D – BCS TECNOLOGIA. UP! 3D Printer User Manual. Disponível em:<http://www.bcstecnologia.com.br/cariboost_files/UP_Plus_2_User_Manual-PT_BRV2.pdf>
- FRANCHETTI, Sandra Mara Martins and MARCONATO, José Carlos. Polímeros biodegradáveis - uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. *Quím. Nova* [online]. 2006, vol.29, n.4 [cited 2016-03-22], pp.811-816. Available from: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422006000400031&lng=en&nrm=iso>. ISSN 1678-7064. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422006000400031>.
- LANDI, T. R.L. ESTUDO DO EFEITO DA RADIAÇÃO IONIZANTE POR FEIXE DE ELÉTRONS SOBRE O TERPOLÍMERO ACRILONITRILA BUTADIENO ESTIRENO – ABS. 2003. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2003.