

## Obtenção de um feixe de radiação polienergética utilizando o código PENELOPE 2006

### Obtaining a radiation beam poly energy using the code PENELOPE 2006

Lúcio das Chagas de Andrade, José Guilherme Pereira Peixoto

IRD – Instituto de Radioproteção e Dosimetria; LNMRI – Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes

E-mail: lucio-andrade@hotmail.com

**Resumo:** A obtenção de um espectro de raios X não é uma tarefa muito fácil, uma das técnicas utilizadas é a simulação computacional pelo método Monte Carlo. O código PENELOPE é um código baseado nesse método que simula o transporte de partículas como elétrons, pósitrons e fótons, em diversos meios e materiais. As versões desse programa 2003 e 2006 apresentam diferenças significativas para facilitação do uso do código. O programa permite a construção da geometria desejada e definições dos parâmetros de simulação.

**Palavras-chave:** simulação, produção Raio-X, PENELOPE.

**Abstract:** Obtaining a spectrum X-ray is not a very easy task, one of the techniques used is the simulation by Monte Carlo method. The PENELOPE code is a code based on this method that simulates the transport of particles such as electrons, positrons and photons in different media and materials. The versions of this program in 2003 and 2006 show significant differences for facilitating the use of the code. The program allows the construction of the desired geometry and definitions of simulation parameters.

**Keywords:** simulation, producing X-ray, PENELOPE.

## 1. INTRODUÇÃO

O seguinte artigo foi desenvolvido como parte do estudo, relacionado à iniciação científica, desenvolvido no Instituto de Radioproteção e dosimetria – IRD.

O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização, Qualidade e Tecnologia – INMETRO designou, desde 1989, o IRD como Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes. A Agência Internacional

de Energia Atômica – IAEA e a Organização Mundial de Saúde – OMS designou, em 1976, o IRD como Laboratório de Dosimetria Padrão Secundário – SSDL.

Desde então o IRD vem assegurando a rastreabilidade das medições das grandezas relativas às radiações ionizantes do sistema internacional de unidades à rede nacional e internacional de metrologia, garantindo a qualidade dos serviços de calibração e ensaio (em Hospitais, Clínicas e Laboratórios) em Radiações

Ionizantes, com a utilização de instrumentos modernos de gestão (ABNT/NBR/ISO/IEC 17025)<sup>[1]</sup>.

A obtenção experimental de um espectro contínuo de raios X não é nada simples, pela pouca disponibilidade de equipamentos adequados para tais medidas. Quando se consegue obter os espectros, é possível conhecer a qualidade de feixe de raios X e determinar a energia média do feixe. Outra técnica utilizada hoje em dia para obtenção dos espectros é a simulação computacional, usando-se o método de Monte Carlo.

Uma completa especificação da qualidade de um feixe de raios X requer a medida de vários parâmetros, sendo um deles a determinação da CSR de materiais padrão, como o Alumínio e o Cobre, para um dado feixe. Uma vez determinada a CSR, é possível conhecer a energia efetiva do feixe. A energia efetiva de um feixe com espectro contínuo equivale à energia de um feixe monoenergético que tem igual valor de CSR.

## 2. O CÓDIGO PENELOPE

As rotinas do programa PENELOPE<sup>[2]</sup> simulam trajetórias de partículas no interior de uma grande variedade de materiais. A geometria pode ser definida diretamente no programa principal ou com auxílio do pacote geométrico PENGEOM<sup>[2]</sup>.

O código PENELOPE simula a emissão de raios X característicos e elétrons Auger que resultam do relaxamento de vacâncias produzidas nas camadas *K* e *L* por absorção fotoelétrica, espalhamento de fótons ou impacto de elétrons e pósitrons. Partículas secundárias emitidas com energia inicial maior que a energia de absorção correspondente são guardadas na memória e simuladas após concluída a simulação do caminho primário.

## 3. DIFERENÇAS ENTRE AS VERSÕES 2003 E 2006 DO CÓDIGO PENELOPE

As duas versões são bem eficientes para simulação de raios X e obtenção de seu espectro. Contudo, a versão 2006 apresenta melhorias em muitos aspectos, entre estes, a facilidade de se obter o espectro de radiação polienergética.

Na versão 2003 estão disponíveis três exemplos de programa MAIN, o único que permite a entrada de uma geometria mais complexa, que é definida pela sub-rotina PENGEOM, é o programa PENDOSES<sup>[2]</sup>. O programa PENDOSES é muito simples e fornece apenas a deposição de energia nos corpos. Para se obter os dados referentes a detecção de fótons gerados como resultado da colisão de elétrons com um alvo é necessário que sejam feitas modificações no programa MAIN que podem ser bem complicadas.

Já na versão 2006 o pacote fornece, entre os exemplos de programa MAIN, o programa PENMAIN<sup>[2]</sup> que permite a entrada de geometrias complexas e fornece, como resultado da simulação, um conjunto de dados com informação sobre todos os aspectos da simulação. Este conjunto de dados de saída pode ser definido no arquivo de entrada ARQUIVO.IN.

## 4. DEFINIÇÃO DA GEOMETRIA

O pacote de sub-rotina PENGEOM permite a definição de uma geometria tão detalhada quanto a habilidade do usuário que a define.

A geometria é inserida na simulação através do arquivo de entrada de dados, este é o arquivo que contém as definições do material que compõem os corpos, energia das partículas, etc. O arquivo que define a geometria (ARQUIVO.GEO) pode ser visualizado nos programas GVIEW2D e GVIEW3D<sup>[2]</sup>.

## 5. PRODUÇÃO DO RAIOS X

Um problema existente no pacote PENELOPE, é o fato de todos os feixes primários por ele gerado, independente de sua natureza, serem monoenergéticos. Sabemos que o feixe de raios X é um tipo de radiação que contém fótons

de diversas energias, devido a isso, é necessário a criação de uma geometria que simule o equipamento gerador de raios X. A geometria deve possuir as características básicas de um equipamento de raios X. Como, por exemplo, alvo de Tungstênio, janela de saída de feixe gerado, detector de fótons e feixe de elétrons como partículas primárias. Abaixo, exemplo de uma geometria com corte vertical.

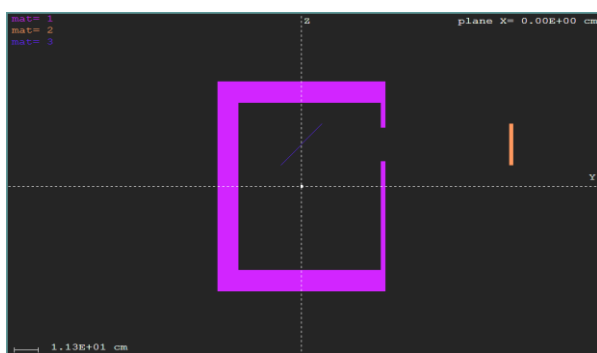


Figura 1- Simulador de raio X, corte com visão interna e externa.

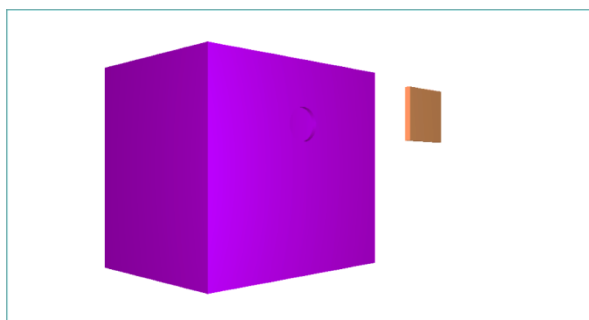


Figura 2- simulador de raio x, visão externa em 3D.

Na definição do material da caixa, foi escolhido o chumbo como material, devido sua alta densidade.

A placa no exterior da caixa de chumbo, servirá como detector do raio X para contagem dos fótons.

Com o programa PENMAIN do pacote PENELOPE 2006, foi simulado um feixe de raios X. Vejamos como ficou a aparência do espectro gerado no exemplo acima.

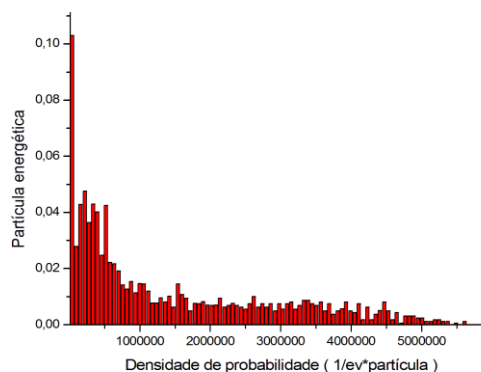


Figura 3 - Espectro do raio x simulado, com energia máxima de 6 Mev, sem filtração inerente e sem filtros adicionais.

Em um experimento real, o feixe de raios X é filtrado por várias camadas de diferentes materiais até chegar ao detector, inclusive o próprio ar do laboratório.

Os fótons depositam sua energia nesses materiais e, se a energia de absorção for maior do que a energia inicial do fóton, ficam retidos nesses corpos ionizados ou não ionizados.

Os fótons com energia superior, atravessam esses filtros. O espectro resultante é o que caracterizará uma qualidade de raios X.

## 6. ENERGIA DEPOSITADA POR FÓTONS

O feixe de fótons antes de chegar ao detector é usualmente colimado, pois o interesse está em que haja irradiação em uma região específica.

Podemos simular a energia depositada no ar, no colimador de chumbo e no paciente (fantoma de água), e o programa fornecerá a energia média depositada.

Como exemplo, vejamos a geometria para uma simulação:

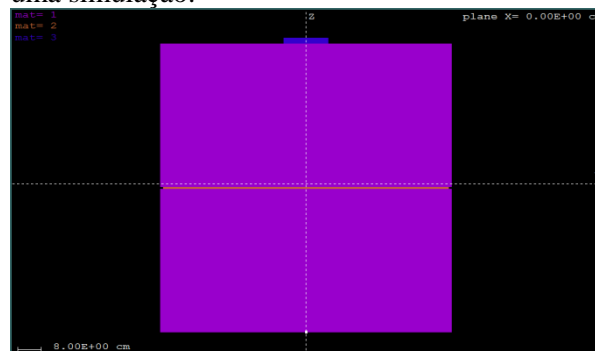


Figura 4 - Geometria para simular percurso do fóton até o paciente.

O feixe de fótons, monoenergético com energia de 150 keV, inicia sua trajetória de baixo para cima ao decorrer do eixo z, atravessando uma camada de ar de 50 cm depois uma placa de chumbo de 5 mm, novamente uma segunda camada de ar de 50 cm e finaliza o percurso com um pequeno cilindro d'água.

A faixa energética sugerida acima é muito utilizada para feixes utilizados em tomografia computadorizada<sup>[3]</sup>, e o chumbo é utilizado na construção de colimadores.

Podemos agora verificar a deposição de energia nos corpos que constituem esse sistema.

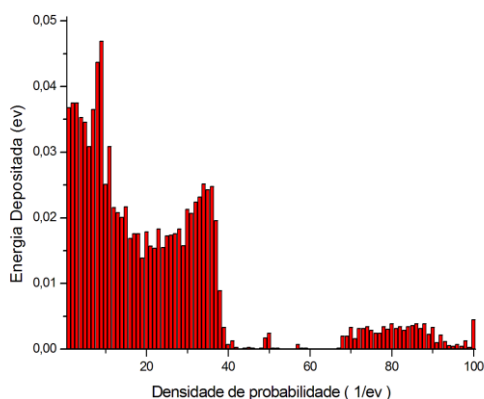


Figura 5 - Energia depositada na primeira camada de ar.

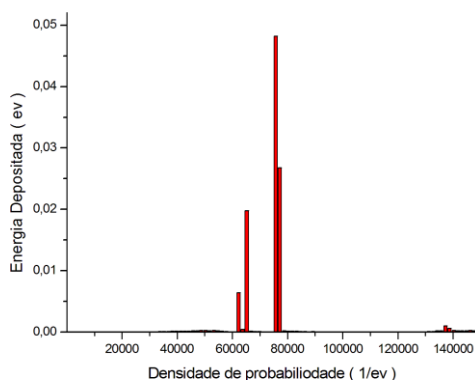


Figura 6 - Energia depositada na placa de chumbo.

Tabela das energias médias depositadas:

Tabela 1: Energia depositada

Corpos	Energia (eV)	Incerteza (eV)
Cilindro de água	0	0
Segunda camada de ar	$6,30 \times 10^{-2}$	$1,9 \times 10^{-1}$
Placa de chumbo	$1,40 \times 10^5$	$8,4 \times 10^1$
Primeira camada de ar	$3,35 \times 10^2$	$1,5 \times 10^1$

## 7. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que para a faixa energética de 150 keV o feixe monoenergético de fótons é totalmente blindado pela camadas de ar e a placa de chumbo, mostrando com isso que uma placa de chumbo com espessura de 5 mm pode ser usada para a construção de um colimador para o feixe de raios X.

O pacote de simulação computacional PENELOPE pode ser uma importante ferramenta no processo de caracterização de uma qualidade de radiação X.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT NBR ISSO/IEC 17025, *Requisitos Gerais para a Competência de laboratórios de Ensaio e Calibração* – Segunda Edição 2005
- [2] Francesc Salvat, José M. Fernández-Varea, Josep Sempau - *PENELOPE-2006: A Code System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport* - Workshop Proceedings Barcelona, Spain 4-7 July 2006 - Facultat de Física (ECM) Universitat de Barcelona Spain
- [3] International Electrotechnical Commission. IEC 61267: *Medical diagnostic x-ray equipment - Radiation conditions for use in the determination of characteristics*. Geneva, 2005.
- [4] SCAFF, Luiz Alberto Malagui, 1947, *Bases Físicas da Radiologia* – São Paulo – SARVIER, 1979