

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÓMICA  
PROYECTO PROTECCIÓN RADIOLÓGICA - (ARCAL I) (RLA/9/009)  
CURSO SOBRE CONTROL DE CALIDAD DEL EQUIPO DE DIAGNÓSTICO DE RAYOS-X

Agosto 29 - Septiembre 9

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR  
INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA  
RIO DE JANEIRO - BRASIL

A TÉCNICA DE MONTE CARLO APLICADA AO CÁLCULO DE DOSE

de

PEIXOTO, João Emílio

I.R.D.

C.P. 37750

Rio de Janeiro - R.J.

Brasil



AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA ATÔMICA  
ARCAL I - PROJETO PROTEÇÃO RADIOLÓGICA - RLA/9/009  
WORKSHOP DE CONTROLE DE QUALIDADE EM RAIOS-X DIAGNÓSTICO

29 de agosto a 9 de setembro de 1988

CO-PATROCINADO POR  
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR  
INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA  
RIO DE JANEIRO - BRASIL

A TÉCNICA DE MONTE CARLO APLICADA AO CÁLCULO DE DOSE

de

PEIXOTO, João Emilio

I.R.D.

C.P. 37750

Rio de Janeiro - R.J.

Brasil

## I. INTRODUÇÃO

Empregando-se a técnica de Monte Carlo no cálculo da dose absorvida, a trajetória do fóton incidente é traçada simulando-se interações sucessivas entre ele e a matéria que compõe o simulador de corpo humano. Desta forma, é possível calcular a energia depositada a cada interação em cada órgão ou tecido do simulador por cada fóton incidente. Os processos físicos de interação utilizados durante a aplicação da técnica de Monte Carlo são: efeito foto-elétrico, espalhamento Compton e produção de pares. No procedimento de cálculo utilizado por Snyder e outros e Kramer, eles supõe que a energia perdida pelo fóton é localmente absorvida no órgão ou tecido onde ocorre a interação.

## II. A TÉCNICA DE MONTE CARLO

No início de cada história de fóton, o ponto de entrada do fóton na superfície do simulador será randomicamente determinado. A direção de entrada é estabelecida determinando-se os cossenos diretores para cada eixo do sistema de coordenadas.

As histórias dos fótons são seguidas usando-se coeficientes de atenuação de massa para cada tipo de interação (Fotoelétrico, Compton e Produção de Pares), e cada tecido compõe o simulador.

Inicialmente, é escolhido o maior dos coeficientes de atenuação de massa dos tecidos do corpo, que passa a ser representado pelo símbolo  $\mu_0$ . O local potencial para interação é determinado tomando-se a distância como sendo:

$$x = (-\ln r) / \mu_0$$

onde,

$x$  = distância transversa

$r$  = número escolhido randomicamente entre 0 e 1

$\mu_0$  = maior coeficiente de atenuação de massa, do simulador.

Esta expressão escrita de maneira inversa torna-se a própria lei de atenuação, onde "r" representaria o quociente de contagens.

$$r = \frac{C}{C_0} = e^{-\mu_0 x}$$

O ponto na direção do fóton que estiver à uma distância "x" do ponto inicial será o local potencial para interação. Este ponto determinará através das equações do simulador a Região de Provável Interação e será chamada de região 'i'. Começa-se então, o 'jogo de azar' com probabilidade  $\mu_i/\mu_0$ , onde  $\mu_i$  é o coeficiente de atenuação de massa da região 'i'. Caso para o órgão em questão  $\mu_i = \mu_0$ , a probabilidade será igual a 1. Isto implicará na interação obrigatória do fóton neste ponto. Entretanto, se  $\mu_i < \mu_0$  então gera-se um número randômico entre 0 e 1, e caso este número seja menor que  $\mu_i/\mu_0$  então, a região é também tomada como região de interação. No entanto, se o número gerado for maior que  $\mu_i/\mu_0$ , o procedimento deve ser repetido calculando-se e adicionando-se uma nova distância transversa à trajetória inicial no último local potencial de interação, e repetindo-se todo o 'jogo' acima descrito.

Este procedimento dá ao fóton uma expectativa realística de alcançar qualquer ponto sem levar em conta quantas fronteiras ele terá de cruzar.

Quando ocorre uma interação tem-se de escolher uma nova direção para o fóton seguir seu caminho. Isto é feito escolhendo-se o ângulo de espalhamento pelo fórmula da distribuição de Klein-Nishina e o ângulo azimutal por uma distribuição uniforme. A nova energia é determinada a partir da fórmula de Compton.

Além da probabilidade do fóton ser espalhado, existe também a probabilidade dele ser absorvido, que predominará em baixas energias. Muitos poucos fótons penetrarão longas distâncias e, conseqüentemente, a estatística da estimativa para estas regiões distantes será pobre. Para compensar-se este fato, a cada fóton é atribuído um peso estatístico, que inicialmente tem valor unitário. A cada interação este peso é reduzido e novo peso é determinado pela expressão:

$$W_n = W_{n-1} \frac{\mu_c(E_{n-1})}{\mu(E_{n-1})}$$

onde:

$W_n$  = peso estatístico após a n-ésima interação.

$W_{n-1}$  = peso estatístico após a (n-1)-ésima interação.

$\mu_c(E_{n-1})$  = coeficiente de espalhamento Compton.

$\mu(E_{n-1})$  = coeficiente de espalhamento total.

Esta redução no peso estatístico é igual à probabilidade de espalhamento Compton que o fóton teria no processo físico real. A história de um fóton se encerra na ocorrência de um dos casos abaixo descritos:

- Fuga para fora do simulador
- Energia do fóton abaixo da  $E_{\min}$
- Peso estatístico tornar-se menor que  $W_{\min}$

Nos dois últimos casos, a energia remanescente do fóton é considerada localmente absorvida na região onde um dos dois critérios foi aplicado.

A deposição de energia na n-ésima interação será determinada pela expressão:

$$E_n = W_{n-1} \frac{\mu_{PE}(E_{n-1})}{\mu(E_{n-1})} E_{n-1} + \frac{\mu_c(E_{n-1})}{\mu(E_{n-1})} (E_{n-1} - E_n)$$

A energia depositada pelas várias interações em cada órgão é acumulada até que todas as histórias de fótons programadas se completem. São necessários, para que se possa ter uma estatística razoável, cerca de 2000 fótons por  $\text{cm}^2$  de área de incidência na superfície do simulador.

Com o procedimento descrito pode-se obter para cada órgão e para todo o simulador:

- dose absorvida média
- coeficiente de variação
- número de colisões
- energia total depositada
- fração da energia total irradiada, depositada no interior do simulador.