



P

ROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÕES  
NA COMUNIDADE DOS PAÍSES  
DE LÍNGUA PORTUGUESA

Luis Neves (coord.)

IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
2018

**EFEITOS DO TAMANHO DE BLOCOS DE OSSOS  
TRABECULARES EM DOSIMETRIA USANDO  
MODELOS COMPUTACIONAIS DE EXPOSIÇÃO**

**EFFECTS OF THE SIZE OF TRABECULAR BONE BLOCKS  
IN DOSIMETRY USING EXPOSURE COMPUTATIONAL  
MODELS**

**J. M. L. FILHO** – josemelo@recife.ifpe.edu.br (Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de Pernambuco IFPE-Recife)

**J. W. VIEIRA** – jose.wilson@recife.ifpe.edu.br (IFPE-Recife e UPE-POLI Recife)

**V. L. NETO** – viriatoneto@recife.ifpe.edu.br (IFPE-Recife)

**V. J. M. LIMA** – vjr@ufpe.br (Universidade Federal de Pernambuco – Anatomia)

**F. R. A. LIMA** – falima@cnen.gov.br (CRCN-NE, CNEN)

**PALAVRAS-CHAVE:** fantoma, ossos trabeculares sintéticos,  
dosimetria óssea, imagens  $\mu$ CT, blocos FV.

**RESUMO:** O Grupo de Dosimetria Numérica (GDN/CNPq) tem realizado estudos de dosimetria óssea com modelos computacionais de exposição (MCEs) contendo um fantoma de voxels acoplado ao código EGSnrc para avaliações dosimétricas internas. Nos MCEs disponíveis na página [www.caldose.org](http://www.caldose.org) do DEN-UFPE, a representação de ossos trabeculares (OTs) foi obtida a partir de imagens  $\mu$ CT de regiões do crânio, coluna vertebral, esterno, pelve e fêmur de um adulto formando os blocos OR (osso real) com

dimensões (em pixel) de 160 Colunas x 60 Linhas x 160 Fatias com o método das micromatrizes. O GDN construiu blocos FV (Frequências dos agrupamentos de Voxels) de imagens de ossos trabeculares sintéticos, com iguais dimensões e mesmos percentuais de OT. MCEs com blocos OR e FV nas mesmas condições, foram submetidos à dosimetria óssea com fonte interna de fótons com o código EGSnrc, os resultados obtidos foram idênticos. Foram organizados e executados seis MCEs com blocos FV de dimensões 160 Colunas x (60, 80, 100, 120, 140, 160) Linhas x 160 Fatias das cinco regiões. Processaram-se  $5,0 \times 10^7$  histórias, considerando uma fonte interna emissora de fótons com 15 energias, variando de 10 keV a 4.000 keV. O órgão fonte considerado foi a próstata e para alvo a próstata, a bexiga urinária, a pelve e o fêmur. São avaliados o tempo computacional, as doses absorvidas por atividade acumulada (D/AAs) e os coeficientes de variância para estudar os efeitos dos tamanhos dos blocos na dosimetria.

**KEYWORDS:** phantom, synthetic trabecular bones, skeletal dosimetry,  $\mu$ CT images, FV blocks.

**ABSTRACT:** The Grupo de Dosimetria Numérica (GDN/CNPq) has performed skeletal dosimetry studies using Exposure Computational Models (ECM) composed by a voxel phantom coupled to the EGSnrc code for internal dosimetry evaluations. The representation of trabecular bones (TB) in the ECM available at website [www.caldose.org](http://www.caldose.org) of DEN-UFPE was obtained from  $\mu$ CT images of skull regions, spine, sternum, pelvis and femur of an adult, building RB (Real Bone) blocks with dimensions (in pixels) of 160 columns x 60 lines x 160 slices with the micromatrices method. The GDN built FV blocks (Frequency of Voxel clusters) of synthetic trabecular bone images with equal dimensions and TB percentage. ECMs with RB and FV blocks under the same conditions, were submitted to

skeletal dosimetry with internal source of photons with the EGSnrc code and the results were identical. Six ECMs were organized and executed with FV blocks with dimensions of 160 columns x (60, 80, 100, 120, 140, 160) lines x 160 slices of the five regions. A total of  $5.0 \times 10^7$  stories were processed, considering an internal photon-emitting source with 15 energies, ranging from 10 keV until 4000 keV. The considered source organ was the prostate and the target organs were the prostate, the urinary bladder, the pelvis and the femur. The computational time, the absorbed dose by accumulated activity (D/AAs) and the coefficients of variance to study the effects of the size of the FV blocks in dosimetry were evaluated.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde 2006, membros do Grupo de Pesquisa em Dosimetria Numérica (GDN/CNPq), sediado em Recife, Pernambuco, Brasil, publicam trabalhos sobre dosimetria óssea. A maioria destes trabalhos se baseia no transporte da radiação através de voxels de ossos trabeculares obtidos de imagens  $\mu$ CT de cinco regiões do esqueleto adulto: crânio, espinha, costela/clavículas/esterno, pelve e ossos longos com blocos de dimensões de 160 colunas x 60 linhas x 160 fatias chamados blocos de ossos reais (OR). Desde 2011 estão sendo produzidas imagens no computador para este fim, baseadas em técnicas MC (VIEIRA et. al., 2012). Neste trabalho são utilizados blocos de imagens FV (Frequências de agrupamentos de Voxels) das cinco regiões trabeculares de ossos em adultos cuja construção é baseada em uma coleção de pontos onde a abscissa é o tamanho dos conjuntos de voxels de osso ao longo de uma dada dimensão de um bloco trabecular, e a ordenada é a frequência total de cada tamanho no bloco. O método foi implementado em um software denominado MonteCarlo, desenvolvido no Microsoft Visual Studio 2010 como um tipo de projeto WPF Application. Os blocos de

imagens geradas foram acoplados ao código EGSnrc (KAWRAKOW et al., 2011), substituindo os blocos OR no modelo computacional de exposição MSTA (conjunto de ferramentas disponíveis em <http://www.caldose.org/> e constituído por um fantoma de voxels representando um adulto masculino em posição ortostática, habilitado para simulações de irradiações internas e externas com o EGSnrc). Foram feitas avaliações dosimétricas com os dois modelos computacionais de exposição (MCEs), usando-se algoritmos que simulam fontes internas de emissores gama com energia variando de 10 a 4000 keV. Os resultados apresentaram-se excelentes, pois, além da substituição de imagens reais por imagens sintéticas, com mesmas dimensões, para as simulações foi desenvolvido um código de amostragem MC bastante geral para ser reutilizado em outros problemas de dosimetria numérica.

Para este trabalho foram construídos blocos FV com outras dimensões, foram organizados e executados seis MCEs MSTA\_FV onde M representa o fantoma de voxels adulto masculino MASH (Male Adult meSH) do DEN-UFPE, STA corresponde à postura ortostática do fantoma e FV amostras de ossos sintéticos obtidas por método MC não parametrizado, baseado nas Frequências de Voxels dos ossos trabeculares OR e por métodos de polimentos e ajustes das amostras. O objetivo é estudar se há efeito do tamanho dos blocos de ossos trabeculares nas avaliações dosimétricas nestes MCEs.

## 2. MÉTODOS

Nos atuais MCEs desenvolvidos pelo Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco (DEN-UFPE) são usadas imagens  $\mu$ CT, com resolução de 60  $\mu$ m, de regiões do crânio, coluna vertebral, esterno, pele e fêmur de um adulto com dimensões (em pixel) de 160 colunas x 60 linhas x 160 fatias disponíveis na página [www.caldose.org](http://www.caldose.org) do DEN-UFPE e chamados blocos de ossos

reais (OR). A Figura 1 mostra o bloco OR da pelve. As imagens 3D apresentadas neste trabalho foram feitas no software livre ImageJ, disponível em (<http://imagej.nih.gov/ij/>).

Estes MCEs são baseados em fantasmas de voxels e no código EGSnrc. Para estimar a energia depositada na medula óssea vermelha e nas células da superfície dos ossos trabeculares em um fantoma, o GDN/CNPq tem usado o método das micromatrizes ou Systematic-Periodic Cluster (SPC) baseado em imagens  $\mu$ CT desenvolvido por Kramer e colaboradores (2009).

Em 2012, VIEIRA e colaboradores, apresentaram dois métodos MC implementados com o intuito de substituir nos MCEs blocos OR por blocos de imagens sintetizadas no computador: o método NT, que usa uma transformação da distribuição normal por MC modelando regiões de ossos trabeculares de adulto para uso em MCEs; e o método baseado nas frequências de tamanhos de clusters de voxels trabeculares (FV), que requer apenas um gerador de números aleatórios (GNA) uniforme. Uma das conclusões apresentadas afirma que os dois métodos são eficientes para produzir fantasmas sintéticos de ossos trabeculares. Para validar os dois métodos foi usado o MCE MSTA como referência e executaram três MCEs: o próprio MSTA\_OR, o MSTA\_NT e o MSTA\_FV. Estes MCEs são similares em todos os aspectos exceto nos conjuntos de imagens dos ossos trabeculares necessários para execução do método das micromatrizes implementado nos MCEs originais. Resultados das execuções dos três MCEs para dosimetria interna foram organizados em um arquivo de texto, compactado e adicionado ao software MonteCarlo como recurso.

Neste trabalho foram construídos blocos sintéticos de ossos FV com dimensões de 160 colunas x  $N_y$  linhas x 160 fatias na unidade pixels onde  $N_y$  assume valores no conjunto {60, 80, 100, 120, 140, 160}. A construção de cada osso FV foi baseada no bloco OR da região correspondente. Para gerar o número de voxels provável para  $N_y > 60$ , o valor para 60 foi multiplicado pelo fator  $N_y/60$ . Foi considerado o mesmo critério para se definir o limite superior do número de voxels por

cluster na direção y e também para o número de voxels de superfície do osso a gerar. Por exemplo, o cálculo para obtenção do número de voxels nos cinco ossos com  $N_y = 80$  foi feito multiplicando-se o fator  $= (80/60)$  pelo número de voxels do osso correspondente com  $N_y = 60$ . E assim foi realizado para os demais valores de  $N_y$ .

Para estudar os efeitos do tamanho dos blocos de ossos trabeculares em dosimetria foram organizados e executados os seguintes MCEs: MSTA\_FV060, MSTA\_FV080, MSTA\_FV100, MSTA\_FV120, MSTA\_FV140 e o MSTA\_FV160 com o código EGSnrc. Estes MCEs são similares em todos os aspectos exceto nos conjuntos dos blocos de imagens dos ossos trabeculares FV. Foram submetidos à simulações de fótons com 15 energias variando de 10 keV a 4.000 keV. O órgão fonte considerado foi a próstata e para alvo a próstata, a bexiga urinária, a pelve e o fêmur.

### 3. RESULTADOS

Foram construídos seis blocos FV de cada uma das cinco regiões de ossos trabeculares apresentadas acima. A Figura 1 mostra o bloco FV da pelve com mesmas dimensões do OR.

A Tabela 1 mostra a média e o desvio padrão do tempo computacional (TC) de execução por energia para os seis MCEs no código MC EGSnrc.

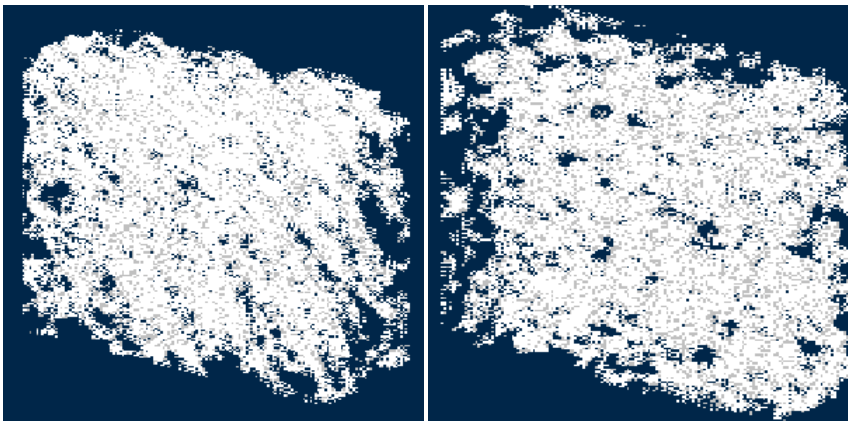




Tabela 1. O tempo computacional médio (TC\_M) e o desvio padrão do tempo computacional (TC\_DP) em segundos, decorrido para execução dos seis MCEs, para cada energia (keV).

Energia	10	15	20	30	50	60	70	80	100	200	500	1000	1500	2000	4000
TC_M	75	108	188	679	1843	2330	2720	3002	3440	4467	5920	8158	10288	12218	18626
TC_DP	0,5	0,5	0,7	4,8	17,6	29,3	45,0	16,2	24,2	34,4	32,9	34,1	30,0	37,8	50,8

O TC varia diretamente com a energia mas independe do tamanho dos blocos. Para os seis MCEs o TC converge para o TC\_M de acordo com a energia, a dispersão associada TC\_DP varia de 0,5 s a 50,8 s e atinge seu máximo na energia de 4.000 keV.

Os valores das D/AAs na próstata e na bexiga urinária apresentados para cada energia são iguais em todos os seis MCEs. A Tabela 2 exhibe as D/AAs por energia nestes órgãos alvos.

Tabela 2. D/AAs (mGy/MBq s) nos alvos Próstata e bexiga urinária (Bex. Urin.) irradiados por fótons emitidos na próstata por energia (keV) nos seis MCEs.

Energia	10	15	20	30	50	60	70
Próstata	8,50E-05	9,72E-05	8,44E-05	5,23E-05	2,82E-05	2,56E-05	2,54E-05
Bex.Urin.	7,19E-07	2,55E-06	3,92E-06	4,36E-06	3,39E-06	3,21E-06	3,21E-06

Energia	80	100	200	500	1000	1500	2000	4000
Próstata	2,68E-05	3,16E-05	6,82E-05	1,79E-04	3,17E-04	4,05E-04	4,59E-04	5,23E-04
Bex.Urin.	3,32E-06	3,75E-06	7,14E-06	1,77E-05	3,25E-05	4,43E-05	5,41E-05	8,12E-05

As D/AAs na próstata são iguais nos seis MCEs para cada energia, e o coeficiente de variação máximo apresentado foi 0,09%. As D/AAs na bexiga urinária comportam-se semelhantemente, porém menores, com coeficientes de variação maiores. Na pelve e nos ossos longos, as D/AAs apresentam-se menores, quando comparadas às da próstata e da bexiga urinária e os coeficientes de variação apresentam-se maiores pois localizam-se mais distante da fonte.



## 4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho apontam que a dosimetria óssea realizada com o método das micromatrizes, utilizando-se blocos de ossos trabeculares FV, neste contexto, não depende dos tamanhos destes blocos.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq.

### Referências

- Kawrakow, I., Mainegra-Hing, E., Rogers, D. W. O., Tessier, F., and Walters, B. R. B. (2011). The EGSnrc Code System: Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport. NRCC Report PIRS-701, Ottawa, Canada.
- Kramer, R., Khoury, H. J., Vieira, J. W., Robson Brown, K. A. (2009). Skeletal Dosimetry for External Exposures to Photons Based on  $\mu$ CT Images of Spongiosa: Consideration of Voxel Resolution, Cluster Size, and Medullary Bone Surfaces, *Medical Physics*, vol. 36 (11), pp. 5007-5016.
- Vieira, J. W., Leal Neto, V., Lima Filho, J. M., Lima, L. F., & Lima, F. R. A. Modelagem Monte Carlo de Regiões dos Ossos Trabeculares de Adultos para Uso em Modelos Computacionais de Exposição. In *Terceiro Congresso de Proteção Contra Radiações dos Países e Comunidades de Língua Portuguesa* (Vol. 20).