

SIMULAÇÃO MATEMÁTICA DA ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO NO CORPO HUMANO⁽¹⁾.

Eduardo de Souza dos Santos⁽²⁾; Gabrielly Gomes Kahl⁽³⁾; Flávio Augusto Penna Soares⁽⁴⁾

Resumo Expandido

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Edital nº 13/PRPPGI/2012, da Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação.

⁽²⁾ Acadêmico CST Radiologia; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina; Florianópolis, SC; edu.s.santos@hotmail.com

⁽³⁾ Acadêmica CST Radiologia; Instituto Federal de Santa Catarina; gabriellygkahl@gmail.com

⁽⁴⁾ Professor Orientador; Instituto Federal de Santa Catarina; flavio@ifsc.edu.br

RESUMO: A preocupação com a dose de radiação recebida pelo paciente está cada vez mais evidente na área da radiologia. Essa dose é o resultado da atenuação da radiação ao passar pelos órgãos e tecidos do corpo. O objetivo desta pesquisa é desenvolver e unificar as equações de atenuação para cada tipo de estruturado corpo, por meio de simulações matemáticas de maneira simplificada. Para chegar a essa equação utilizou-se métodos de regressão linear sobre dados disponíveis em banco de dados reconhecidos internacionalmente. A partir dos dados do Coeficiente de Atenuação de Energia (CAE) em massa coletados no NIST para osso e demais tecidos foram feitos ajustes inserindo-o em uma equação geral de Lambert-Beer, gerando assim, quatro equações exponenciais de atenuação. Utilizou-se o Programa MATHCAD para todo o processo de manipulação e construção dos dados. As exponenciais foram agrupadas e simplificadas em uma única equação geral onde a atenuação da estrutura anatômica escolhida é calculada por meio das espessuras mensuradas de osso, músculo, gordura/órgãos e pele. Estes valores podem ser utilizados para obtenção de outros cálculos, como dose absorvida e dose efetiva.

Palavra Chave: proteção radiológica, dose absorvida, coeficiente de atenuação em massa.

INTRODUÇÃO

Na área da radiologia, uma das grandes preocupações atualmente é a dose de radiação absorvida pelo paciente que, devido a efeitos estocásticos ou determinísticos, pode acarretar uma série de patologias induzidas pela radiação.

A dose absorvida pelo paciente representa o resultado da atenuação da radiação quando a mesma passa pelos tecidos do corpo. A atenuação é um processo natural que ocorre com uma partícula carregada que passa por uma matéria qualquer. Esse processo é regido pela lei de Lambert-Beer e que tem um comportamento exponencial (ATTIX, 2004). Assim, a atenuação dos fótons, de forma análoga, obedece à mesma lei que descreve a interação dos elétrons como uma função exponencial da distância percorrida vezes o coeficiente de atenuação do meio (SOARES, 2006). Portanto, pode-se estimar a atenuação da radiação de uma parte anatômica conhecendo-se sua espessura e coeficiente de atenuação em energia. Neste trabalho abordamos o desenvolvimento de uma equação para calcular a atenuação de estruturas anatômicas, baseada em coeficientes de atenuação conhecidos e na equação geral de Lambert-Beer.

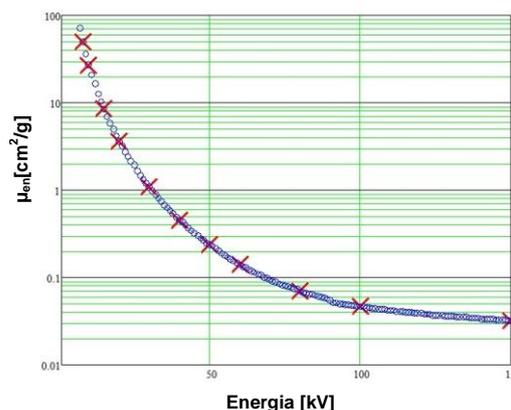
METODOLOGIA

Os valores do coeficiente de atenuação de energia em massa de cada tecido estão disponíveis

de forma discreta em tabelas encontradas em diversas referências. Para este trabalho utilizou-se os dados dos coeficientes para os tecidos do osso, músculo, gordura e pele disponíveis no site do National Institute of Standards and Technology (NIST) dos Estados Unidos.

Utilizando regressão linear (Gráfico 1), procurou-se encontrar uma equação exponencial que melhor se aproximasse dos dados disponíveis. A equação foi fracionada por faixas de energia, a fim de manter um erro menor que 2% entre os dados e a curva dos valores calculados em toda a faixa de energia.

Gráfico 1 – Regressão linear para coeficiente de atenuação de energia do osso



o programa MATHCAD versão 14 foi utilizado por permitir uma fácil manipulação dos dados e construção de todo o processo de desenvolvimento

das equações. As estruturas do tórax, coxa e mão foram escolhidas para as simulações devido a sua maior frequência de realização de exames radiográficos.

As medidas da seção transversal (espessura) dos ossos foram realizadas em um esqueleto que reproduz a anatomia humana óssea. O valor médio de espessuras dos outros 3 tecidos principais presentes em cada estrutura foram retirados da literatura (ALVES, 2011; CERQUEIRA, 2010)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados retirados do NIST, foi feito o ajuste da equação exponencial para coeficiente de atenuação de energia em massa (CAE) para o tecido ósseo (Equação 1), fracionada em 5 faixas de tensão entre 0 e 150 kVp, reduzindo sua taxa de erro para menos de 1%, conforme apresentado no Gráfico 2. O mesmo processo foi reproduzido para os demais três tecidos.

Equação 1 – Equação do CAE por faixas para osso

$$CAE(x) := \begin{cases} 13820 \cdot x^{-2.708} & \text{if } x \leq 12 \\ 21320 \cdot x^{-2.897} & \text{if } 12 < x \leq 25 \\ 25820 \cdot x^{-2.968} & \text{if } 25 < x \leq 50 \\ 0.00873 \cdot e^{\frac{166}{x}} & \text{if } 50 < x \leq 90 \\ 0.0153 \cdot e^{\frac{110}{x}} & \text{if } 90 < x \leq 150 \end{cases}$$

Utilizando a lei de Lambert-Beer gerou-se 4 exponenciais, uma para cada tecido, em função do seus respectivos CAE, representada genericamente pela Equação 2.

$$At(V, d) = e^{-CAE(V) \cdot \rho \cdot d} \quad (2)$$

Onde:

$At(V, d)$ = Atenuação [%]

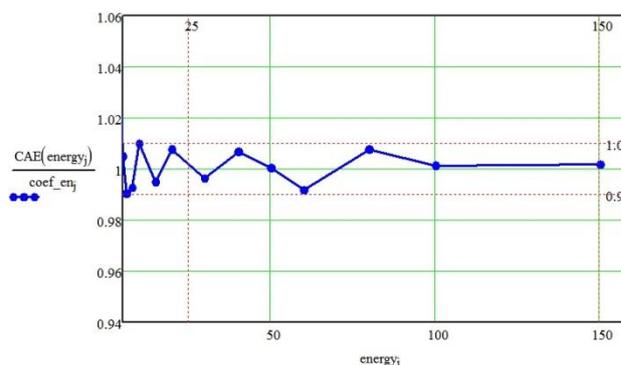
$CAE(V)$ = Coeficiente de Atenuação de Energia em massa

ρ = Densidade Média [g/cm^3] do tecido

d = Espessura [mm] do tecido

V = Tensão [kV]

Gráfico 2 – Taxa de erro da equação para CAE do osso em relação aos dados



As 4 equações de atenuação dos tecidos foram multiplicadas e simplificadas para formar a equação geral de cálculo da atenuação (Equação 3) para cada uma das estruturas.

$$At(V, dO, dM, dG, dP) = e^{-CAEO \cdot \rho O \cdot dO - CAEM \cdot \rho M \cdot dM - CAEG \cdot \rho G \cdot dG - CAEP \cdot \rho P \cdot dP} \quad (3)$$

Onde:

$d(O, M, G, P)$ = espessura para cada tecido

$\rho(O, M, G, P)$ = densidade para cada tecido

$CAE(O, M, G, P)$ = equação do coeficiente para cada tecido

Sendo O = osso; M = músculo; G = gordura; P = pele

Na Tabela 1 apresentamos os valores de densidade média para cada um dos tecidos.

Ossos	Músculo	Gordura	Pele
1,5	1,03	0,92	1,09

Na Tabela 2 apresentamos os valores de espessura média para cada um dos tecidos nas respectivas estruturas selecionadas.

Estrutura	Ossos	Músculo	Gordura	Pele
Tórax	50	250	10	2
Mão	10	5	4	2
Coxa	29	84	20	2

CONCLUSÕES

Segundo a Portaria 453/98 é necessário um controle de dose rigoroso para evitar exposição excessiva e desnecessária do paciente à radiação, pois a mesma é nociva à saúde. O desenvolvimento de uma equação única, completa, de resultado direto e com erro menor do que 1%, facilita o cumprimento da lei, bem como dá novas ferramentas ao tecnólogo. Quando este puder estimar a dose no paciente antes de executar o

exame, poderemos assegurar uma imagem de melhor qualidade com a menor dose possível ao paciente.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IFSC pelo suporte e incentivo à pesquisa, ao professor orientador e aos demais colegas pesquisadores que de alguma forma contribuíram para construção desse trabalho.

REFERÊNCIAS

ALVES, D. F. **Determinação das especificações de um fantoma de tórax**, 2011. Trabalho de Conclusão do Curso superior de Tecnologia em Radiologia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis. 49p.

ATTIX, F. H. **Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry**. Weinheim: Wiley-vch Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004.

BRASIL. Diretrizes de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico. Brasília, **Portaria nº 453**, 02/06/98

CERQUEIRA, R. A. D. **Construção de um objeto simulador antropomórfico de tórax para medidas de controle da qualidade da imagem em radiodiagnóstico**. Tese (Mestrado em Física) – Universidade Federal do Sergipe, São Cristóvão, 2010.

FONSECA, J. A.; MEURER, E. J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21, 47-50, 1997.

JONES, A. K.; HINTENLANG, D. E.; BOLCH, W. E. **Tissue-Equivalent Materials for Construction of Tomographic Dosimetry Phantoms In Pediatric Radiology**. *Med. Phys.* 2003; 30(8): 2072-81

NIST. **X Ray Attenuation and Absorption for materials of Dosimetric Interest**. Disponível em: <<http://www.nist.gov/pml/data/xraycoef/index.cfm>>. Acesso em: 14 de jun. 2013

PTC, MathCad 14 – The Industry Standard for Engineering Calculations, [CD-ROM], 2007.

SOARES, F. A. P. **Produção de Raios X em Ampolas Radiográficas**: Estudo do Tomógrafo Computadorizado do Hospital Regional de São José/SC. 2006. 102 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

TOMIMASU, S. **Desenvolvimento de Material Simulador de Tecido Humano a partir do Látex de borracha Natural Vulcanizado com Radiação Gama**. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações) – IPEN, São Paulo; 2000.