

Dosimetria em Tomografia Computadorizada Empregando Dosímetro Fricke Gel e a Técnica de Imageamento por Ressonância Magnética

Felipe Favaro Capeleti^{1,2}, Letícia L. Campos¹

¹Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, Brasil

²GMP – Consultoria em Radioproteção e Física Médica e Assessoria, São Paulo, Brasil

Resumo. Neste trabalho foi desenvolvido um novo método para a determinação das doses absorvidas nos exames de tomografia computadorizada, utilizando a dosimetria com Fricke gel desenvolvido no IPEN. Foram determinadas as doses absorvidas por diferentes metodologias de análise, como a espectrometria de absorção óptica, câmaras de ionização e imageamento por ressonância magnética. Foram realizados testes de limite mínimo de sensibilidade da solução de Fricke gel, repetitividade de sinal da solução de Fricke gel e dos equipamentos de tomografia computadorizada, sensibilidade de detecção, entre outros. Foram utilizados diferentes equipamentos de tomografia computadorizada com múltiplos detectores. A solução Fricke gel apresentou repetitividade melhor que $\pm 5,5\%$ utilizando a técnica de espectrofotometria de absorção óptica e os equipamentos de tomografia computadorizada apresentaram repetitividade melhor que $\pm 0,2\%$. A solução Fricke gel apresenta um preparo fácil e relativamente rápido, porém é necessária atenção para não haver contaminação e perder a solução. Com os resultados obtidos foi confirmada a aplicação deste tipo de dosimetria para os equipamentos de tomografia computadorizada. **Palavras-chave:** dosimetria; tomografia computadorizada; Fricke gel, crânio.

Dosimetry for Computed Tomography Using Fricke Gel Dosimetry and Magnetic Resonance Imaging

Abstract. In this work it was determined a new method for the determination of absorbed doses in Computed Tomography (CT) examinations using Fricke gel dosimetry developed at IPEN. Absorbed doses were determined by different methods of analysis, such as optical absorption spectrometry, ionization chambers and magnetic resonance imaging. Lower limit of sensitivity of the Fricke gel solution, the solution repeatability signal Fricke gel and CT equipment, detection sensitivity, among other tests were performed. Different equipment of computed tomography with multiple detectors were used. The Fricke gel solution showed better repeatability than $\pm 5.5\%$ using the technique of optical absorption spectrophotometry and computed tomography equipment showed repeatability better than $\pm 0.2\%$. The Fricke gel solution features an easy and relatively quick preparation, but it is necessary to be careful not to contaminate and lose the solution. With the results, it was confirmed the application of this type of dosimetry for computed tomography equipment.

Keywords: dosimetry; computed tomography; Fricke gel, skull.

1. Introdução

A tomografia computadorizada é uma técnica de diagnóstico por imagem que permite visualização da anatomia interna com alta definição, mas necessita de uma maior dose no paciente, e com isso há a necessidade de uma proteção radiológica com maior rigor^{1,2}.

A caracterização da dose de radiação nesta modalidade é baseada em uma métrica, o índice de dose em tomografia computadorizada, introduzido há 30 anos para facilitar a regulamentação governamental, porém não representa a dose real entregue ao paciente, assim houve a necessidade de buscar uma nova metodologia para medição desta dose³.

Na dosimetria gel, qualquer propriedade mensurável, que mude em função da dose absorvida de radiação pode ser usada como base para um dosímetro. A ideia de usar a técnica de IRM foi primeiramente sugerida por Gore et al.⁴

Eles propuseram um novo método de medida e registro da variação da distribuição da dose, utilizando uma solução com absorção equivalente ao tecido, capaz de alta resolução espacial e precisão para doses de radiação moderadas.

O conceito envolve o uso de um meio absorvedor cujas propriedades de RMN variem como resultado da interação com a radiação ionizante.

Este trabalho tem como motivação a aplicação de uma nova metodologia para a medição das doses dos protocolos de crânio entregue aos pacientes. Este protocolo foi selecionado devido aos acidentes com efeitos determinísticos nos procedimentos de perfusão cerebral.

2. Material e métodos

Foi utilizado três diferentes equipamentos de tomografia computadorizada com múltiplos detectores.

As câmaras de ionização utilizadas no trabalho são do tipo lápis modelo 3CT apresentando incerteza expandida de dose absorvida de $\pm 2.5\%$, com nível de confiança de 95%.

2.1. Preparo do Fricke gel

Os reagentes utilizados para o preparo do Fricke gel estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Reagente para o preparo do Fricke gel.

Composto	Concentração
Sulfato ferroso de amônia [Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ 6H ₂ O]	1 mM
Alaranjado de xilenol [C ₃₁ H ₂₈ Na ₄ O ₁₃ S]	0,1 mM
Ácido sulfúrico, H ₂ SO ₄	50 mM
Cloreto de sódio, NaCl	1 mM
Água tri-distilada	Depende do volume escolhido
Gelatina suína 270 Bloom	5 %

A solução dosimétrica de Fricke gel foi preparada no laboratório de Doses Altas (LDA) – Dosimetria Química e Absorção Óptica do IPEN, com gelatina 270 bloom.

Inicialmente, foi separado 75 % do volume total de água tri-distilada em pressão e temperatura ambiente e a gelatina foi hidratada com um pouco de água tri-distilada fria.

Enquanto a gelatina absorve a água, o restante da água tri-distilada é aquecida e é adicionada a gelatina hidratada neste líquido aquecido, verificando sempre a temperatura da solução e mantendo sob agitação até a dissolução total.

Enquanto a solução permanece em dissolução, são misturados o ácido sulfúrico, o cloreto de sódio, sulfato ferroso e o alaranjado de xilenol nos 25 % de água restante.

Após a total dissolução da gelatina, a solução foi resfriada e foi misturada à solução preparada na gelatina dissolvida, mantendo em agitação até total homogeneização^{5,6}.

A concentração escolhida para a gelatina de 5 % mostrou ser a opção ótima para este tipo de dosimetria⁷.

2.2. Irradiação nos equipamentos de tomografia computadorizada

As amostras a serem irradiadas foram preparadas com no mínimo 12 horas de antecedência¹ e permaneceram durante todo este período ao abrigo da luz e sob refrigeração. Para o transporte das amostras do IPEN ao tomógrafo, estas permaneceram em ambiente fechado e refrigerado durante todo o percurso. Ao chegar ao local de irradiação, as amostras permaneceram ao abrigo da luz, porém à temperatura ambiente durante 30 minutos para atingir o equilíbrio térmico.

Foram ajustados os protocolos de crânio nos equipamentos de tomografia computadorizada.

2.3. Irradiação das câmaras de ionização

A câmara de ionização 3 CT da Radcal foi posicionada no centro do gantry e foram realizadas 3 irradiações, sendo anotados os valores de kerma (mGy) de cada irradiação, para avaliar a repetitividade da dose dos equipamentos. Este procedimento foi repetido em todos os equipamentos de tomografia computadorizada avaliados.

2.4. Irradiação da cubetas

Após a avaliação dos equipamentos com as câmaras de ionização, as cubetas foram posicionadas no suporte desenvolvido, divididas em grupos com 3 unidades, mantendo cada grupo com as mesmas configurações de irradiação e quantidade de irradiações.

Em todos os testes foi selecionado um grupo denominado como BG, que são os grupos de controle, onde não foram realizadas irradiações.

As irradiações foram realizadas no ar e em equilíbrio eletrônico.

2.5 Análise da absorção óptica

Trinta minutos após a irradiação as cubetas foram inseridas no espectrômetro de absorção óptica para as medições de absorvância.

Foram realizadas as medições de todas as cubetas e, após as leituras, os resultados foram salvos em formato .cvs (compatível com os programas Origin e Excel), sendo realizados as análises e os gráficos dos resultados.

2.6. Imageamento por Ressonância Magnética

Para o imageamento por RM foi utilizado o equipamento Achieva 1,5 T com a bobina de crânio de 16 canais, com a sequência de pulso descrita na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de aquisição da Imagem por Ressonância Magnética.

Sequência	Spin –Eco
Ponderação	T1
Tempo de Repetição (TR)	600 ms
Tempo de Eco (TE)	15 ms
Matriz	256 x 256
Espessura de corte (mm)	1,0
Orientação	Axial, Coronal e Sagital

Para avaliação das cubetas foi utilizada a orientação coronal.

Os valores das intensidades do sinal foram obtidos pelos softwares Jivex, Osirix e ImageJ.

3. Resultados e Discussões

3.1. Espectro de absorção óptica

Os espectros de absorção óptica foram adquiridos para cubetas não irradiadas e irradiadas

Médica

com doses absorvidas entre 11,69 a 526,05 mGy em um equipamento de tomografia, como demonstrado na

Figura 1.

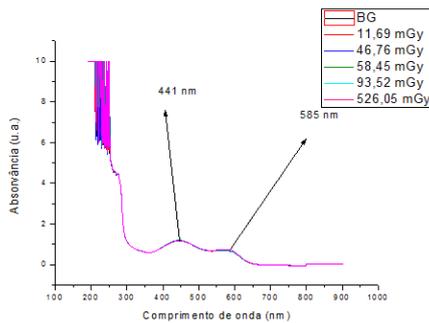


Figura 1: Espectro de absorção óptica para a solução Fricke gel, identificando as bandas de 441 nm e 585 nm.

As duas bandas de absorção características da solução Fricke Gel 270 Bloom são observadas em 441 nm e 585 nm correspondente aos íons de Fe^{2+} e Fe^{3+} respectivamente.

Pode ser verificado que com o aumento da exposição à radiação os íons Fe^{2+} sofrem oxidação e a quantidade de Fe^{3+} aumenta, como demonstrado na Figura 2.

A concentração dos íons Fe^{2+} diminuem com o aumento da exposição devido a oxidação destes para o Fe^{3+} , como demonstrado na Figura 3.

Os pontos para os valores de dose de 11,69, 46,76, 58,45 e 93,52 mGy estão abaixo da sensibilidade do Fricke gel, com isso podemos considerar estes pontos semelhantes conforme visualizado na Figura 2 e 3. A diferença de sinal entre as cubetas não irradiadas e as irradiadas é proporcional a dose absorvida pelas amostras.

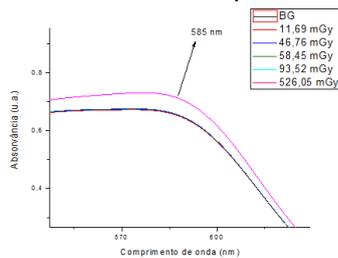


Figura 2: Aumento gradativo da absorvância para o comprimento de onda de 585 nm em função da dose.

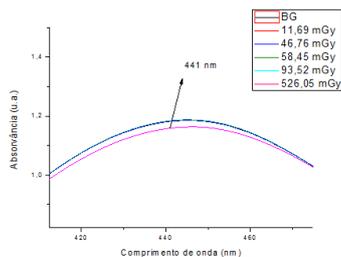


Figura 3: Diminuição da absorvância para o comprimento de onda de 441 nm.

Estes resultados demonstram que a gelatina 270 Bloom é adequada na análise

espectrométrica para determinação da dose absorvida utilizando equipamentos de tomografia computadorizada.

3.2. Repetitividade do Kerma dos Equipamentos de Tomografia

A Tabela 3 apresenta os valores de kerma no ar medidos para o protocolo de crânio selecionado para o equipamento de tomografia computadorizada. Foram realizadas 3 medições para verificar a reprodutibilidade do kerma no ar para o equipamento de tomografia computadorizada.

Foi observado um desvio padrão de $\pm 0,01$ e repetitividade de $\pm 0,11\%$, demonstrando que o equipamento é adequado para a realização dos experimentos devido à alta repetitividade.

Tabela 3: Resultados do kerma no ar para os protocolos de crânio dos três equipamentos de tomografia (6, 16 e 64 canais)

64 Canais	
Medição	Kerma (mGy)
1	18,01
2	17,99
3	18,00
Média (mGy)	18,00
Desvio Padrão	0,01
Repetitividade (%)	0,11

A Tabela 4 apresenta o número de irradiações para cada grupo do equipamento de tomografia computadorizada de 64 canais e a dose absorvida referente para cada grupo.

Tabela 4: Número de irradiações e as doses absorvidas para cada grupo do equipamento de tomografia computadorizada de 64 canais.

Grupo	64 Fileiras de Detectores	
	Número de irradiações	Dose absorvida (mGy)
1	0	0
2	10	180
3	20	360
4	30	540
5	40	720
6	50	900
7	60	1080
8	70	1260
9	80	1440
10	90	1620
11	100	1800

É observado o aumento a absorção óptica devido à oxidação dos íons Fe^{2+} em Fe^{3+} .

Pode ser observado que para o comprimento de onda de 585 nm as curvas apresentam comportamento crescente, pois há um aumento do número de íons Fe^{3+} devido a oxidação dois íons de Fe^{2+} .

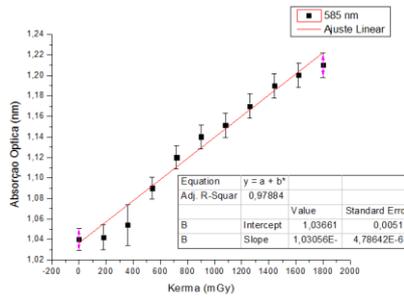


Figura 4: Curva de resposta em função da dose para o comprimento de onda de 585 nm para o equipamento de 64 canais.

3.3. Resposta do Fricke gel com imageamento por ressonância magnética

Pode ser observado na Figura 5 que a intensidade de pixel para as imagens de ressonância magnética é proporcional à dose absorvida nas amostras.

A partir das médias das intensidades, foi obtida a curva de intensidade do sinal em função da dose absorvida.

O ajuste linear apresentou um R^2 superior a 0,9, indicando um ajuste linear coerente.

O limite mínimo de detecção utilizando o imageamento por RM da solução Fricke gel de concentração de 5 % de gelatina 270 Bloon, é de 540mGy, determinado experimentalmente conforme a curva de intensidade média do sinal pelo Kerma.

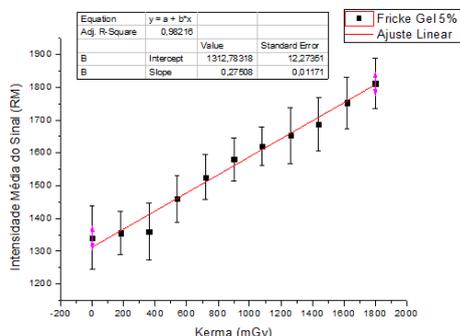


Figura 5: Resposta da intensidade média do sinal em função do kerma e o ajuste linear.

4. Conclusões

A repetitividade do equipamento de tomografia computadorizada é menor que 0,2 %, indicando uma baixa interferência nos resultados da reprodutibilidade da solução Fricke Gel.

O Fricke gel pode ser utilizado como dosímetro e apresentou:

- Preparo fácil, podendo ser realizado em menos de 3 horas, porém necessita de um laboratório com vidrarias e equipamentos próprios.
- Baixo custo para preparação do Fricke gel.
- O tempo para ser realizada a leitura no equipamento de ressonância magnética deve ser inferior à 30 minutos, assim necessita de um agendamento preciso dos equipamentos a serem utilizados.

- O dosímetro Fricke gel após ser utilizado pode ser descartado sem preparo específico por ser biodegradável.
- Os resultados mostraram que a solução Fricke Gel utilizando a absorção óptica pode ser utilizada na dosimetria em tomografia computadorizada, tanto para absorção no comprimento de onda do Fe+3 (585 nm) e Fe+2 (441 nm).
- O Fricke gel com concentração de 5 % de gelatina 270 *bloon* demonstrou-se viável para imageamento nas cubetas padrões, demonstrando linearidade da intensidade do sinal e da dose.

Devido ao limite inferior do Fricke gel, foi necessário irradiar as amostras várias vezes, aumentando o tempo de irradiação nos equipamentos de tomografia ocasionado pelo aquecimento do tubo de Raios X.

Os resultados demonstraram que o Fricke gel pode ser utilizado na dosimetria com imageamento por Ressonância Magnética.

Os resultados da dosimetria por imageamento por ressonância magnética, demonstrou-se viável para a dosimetria de equipamentos com colimação superior à das câmaras de ionização 3CT, que são a metodologia padrão para este tipo de equipamento.

Agradecimentos

A toda equipe da Santa Casa de São Paulo, principalmente aos físicos pela ajuda no agendamento dos equipamentos.

Ao CNPq e CAPES pelo auxílio financeiro.

Referências

1. Brisse, H. J.; et al. The relevance of image quality indices for dose optimization in abdominal multi-detector row CT in children: experimental assessment with pediatric phantoms. *Phys. Med. Biol* 2009; (54):1871-21
2. BUSHBERG, J.T.; SEIBERT, A.; LEIDHOLDT, E.M.; BOONE, J.M.. *The Essential Physics of Medical Imaging*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2001.
3. AMERICAN ASSOCIATION PHYSICISTS IN MEDICINE. *Comprehensive Methodology for the Evaluation of Radiation Dose in X-Ray Computed Tomography*. Report da AAPM Task Group 111: The Future of CT Dosimetry 2010.
4. Gore J. C., Kang Y. S. and Schulz R. J. Measurement of radiation dose distributions by nuclear magnetic resonance (NMR) imaging *Phys. Med. Biol.* 1984; 29 (10) 1189-97
5. OLSSON, L.E.; PETERSSON, S; AHLGREN, L; MATTSON, S. Ferrous sulphate gels for determination of absorbed dose distributions using MRI technique: basic studies. *Phys. Med. Biol.* 1989; (34): 43-9.
6. IMPACT. *Technology Update: Multi-Slice CT Scanners 2002*; (2).
7. Gay, C.; Collins, J.; Gebicki, M. Determination of Iron in Solutions with Ferric-Xylenol Orange Complex. *Anal. Bioch.* 1999; (273):143-5.

Contato:

Felipe Favaro Capeleti

R. Padre Machado, 455, conj. 41 – São Paulo - SP
felipe@gmpbrasil.com.br