



P

ROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÕES  
NA COMUNIDADE DOS PAÍSES  
DE LÍNGUA PORTUGUESA

Luis Neves (coord.)

IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
2018

**ESTUDO COMPARATIVO DE SENSIBILIDADE ENTRE OS  
DOSÍMETROS FRICKE XILENOL GEL E ALANINA GEL**

**COMPARATIVE STUDY OF SENSITIVITY BETWEEN FRICKE  
XYLENOL GEL AND ALANINE GEL**

**R. O. BRESSANE** – rbressane@ipen.br (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Metrologia das Radiações)

**D. VILLANI** – dvillani@ipen.br (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Metrologia das Radiações)

**O. RODRIGUES JR** – rodrijr@ipen.br (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Metrologia das Radiações)

**L. L. CAMPOS** – lcrodri@ipen.br (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Metrologia das Radiações)

**PALAVRAS-CHAVE:** FXG, DL-alanina, Fricke xilenol gel.

**RESUMO:** Fricke Xilenol Gel (FXG) é um dosímetro químico bem conhecido e caracterizado. Neste trabalho, foi adicionada alanina ao FXG a fim de obter melhora na sensibilidade. A comparação entre os dois dosímetros permitiu verificar maior estabilidade no gel devido à presença da alanina e aumento do intervalo de linearidade da resposta óptica: de 1 a 30 Gy para 5 a 50 Gy. Foi possível verificar, também, que a variação de cor das amostras após a irradiação é característica de cada tipo de dosímetro e que a sensibilidade do dosímetro com alanina é maior utilizando-se 0,2 mM de alaranjado de xilenol.

KEYWORDS: FXG, DL-alanine, Fricke xylenol gel

ABSTRACT: Fricke Xylenol Gel (FXG) is a well-known and characterized chemical dosimeter. The aim of this work was to evaluate the improvement the its sensitivity adding alanine. The comparison between both dosimeters allowed to verify greater stability in the gel due to presence of alanine and increase in linearity range of optical response: from 1 to 30 Gy for 5 to 50 Gy. It was also possible to verify that the color variation of samples after irradiation is characteristic of each type of dosimeter and that the sensitivity of de dosimeter with alanine is higher using 0.2 mM of xylenol orange.

## 1. INTRODUÇÃO

O Fricke xilenol gel (FXG) é um dosímetro químico que permite a avaliação tridimensional da dose, sendo possível produzir objetos simuladores de diversas formas e tamanhos (Gore, 1984), tendo sido utilizado principalmente na área médica, com destaque no controle de qualidade das complexas técnicas de tratamento do câncer.

O princípio dos dosímetros químicos consiste na determinação da dose absorvida a partir das medidas de variação das concentrações dos reagentes na solução provocada pela radiação ionizante.

Nos dois dosímetros estudados neste trabalho, os íons  $\text{Fe}^{2+}$  são oxidados em  $\text{Fe}^{3+}$  por ocasião da irradiação. Mizuno (2007) e Silva (2009) realizaram estudos de caracterização de solução gel com a adição de alanina, utilizando DL-alanina, que é um material tecido equivalente, e que permite a sua aplicação na dosimetria de nêutrons (Mangueira, 2010).

As características dosimétricas do FXG já são bem conhecidas (Cavinato, 2010, 2011). Silva (2011) verificou que a sensibilidade

do dosímetro FXG com adição de alanina pode ser considerada independente do tipo de radiação para feixes clínicos de fótons de 6 MV a 15 MV e elétrons de 6 MeV a 15 MeV e a resposta óptica pode ser considerada independente da energia do feixe para essa faixa energética. O objetivo deste trabalho é avaliar a variação da sensibilidade do dosímetro FXG adicionando DL-alanina antes da irradiação em campo de radiação gama.

## 2. MÉTODOS

A massa dos reagentes especificados na Tabela 1 foi medida utilizando-se uma balança de precisão Metler Toledo™ modelo AB204-S e o volume de ácido sulfúrico foi medido utilizando-se uma pipeta. Toda a vidraria utilizada foi higienizada com água ultrapura e seca em condições ambiente. A formulação das amostras de FXG e do FXG com alanina está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição do FXG e do Friche xilenol gel com alanina (FXG-Alanina)

Compostos	Concentração FXG	Concentração FXG-Alanina	Marca
Sulfato ferroso amoniacal	1 mM	1 mM	Sigma-Aldrich™
Alaranjado de xilenol (AX)	0,1 mM	0,1/0,2 mM	Sigma-Aldrich™
Compostos	Concentração FXG	Concentração FXG-Alanina	Marca
Ácido sulfúrico	50 mM	237,5 mM	Merck™
Cloreto de sódio	1 mM	-	Merck™
DL-alanina	-	673,5 mM	Merck™
Gelatina suína 270 Bloom	5% do volume total	10 % do volume total	GELNEX®

O volume total da solução foi considerado como sendo o volume total de água ultrapura utilizado na síntese do gel, de modo que 75 % foram utilizados para dissolver a gelatina e 25 % para os demais reagentes. A dissolução dos reagentes nos 25

% de água foi realizada à temperatura ambiente, adicionados à solução de gelatina previamente homogeneizada e resfriada a 35 °C. A homogeneização deu-se por meio de um agitador magnético Nova Ética® modelo 114. Uma amostra de FXG-Alanina foi preparada com 0,1 mM de AX e outra com 0,2 mM, para efeito de estudo comparativo da resposta.

As soluções finais foram acondicionadas em cubetas de PMMA de dimensões (10 x 10 x 45) mm<sup>3</sup> e, após resfriadas em condições ambiente, foram armazenadas em geladeira a 5 °C, e mantidas ao abrigo de luminosidade. Foram retiradas da geladeira após 18 horas e mantidas em temperatura ambiente para estabilizar.

A leitura da absorção óptica das amostras não irradiadas foi realizada utilizando-se espectrofotômetro Agilent Technologies™ Cary 5000 UV-Vis-NIR. As amostras foram irradiadas com radiação gama de <sup>60</sup>Co no irradiador Gammacell, modelo 220, com doses de 1, 2, 5, 10, 15, 20, 35, 45, 60 e 100 Gy. Para cada dose, foram irradiadas três cubetas acondicionadas em um suporte de PMMA de 3 mm de espessura para garantir o equilíbrio eletrônico. As leituras de absorção óptica dessas amostras ocorreram 4 h após a irradiação. A escolha de três cubetas, em vez de uma, deu-se em virtude de melhor análise estatística.

### **3. RESULTADOS**

As Figuras 1a e 1b mostram que a coloração do FXG varia de amarelo a azul para doses de 0 a 100 Gy, e a coloração do FXG-Alanina varia de amarelo a laranja para o mesmo intervalo de dose. Na Figura 1c são apresentados os espectros de referência de amostras não irradiadas (0 Gy).

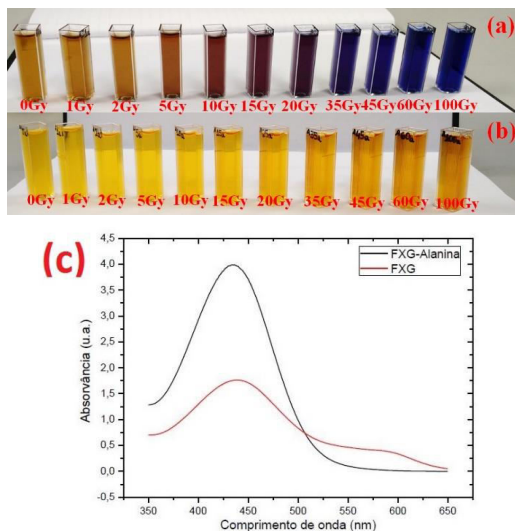


Figura 1. Cubetas irradiadas no intervalo de dose de 0 a 100 Gy. (a) FXG e (b) FXG-Alanina; (c) Espectros de referência de amostras não irradiadas (0 Gy).

As Figuras 2a e 2b apresentam os espectros originais (pré-tratamento matemático) de absorvância em função do comprimento de onda referentes a todas as doses utilizadas neste trabalho. (a) FXG e (b) FXG-Alanina.

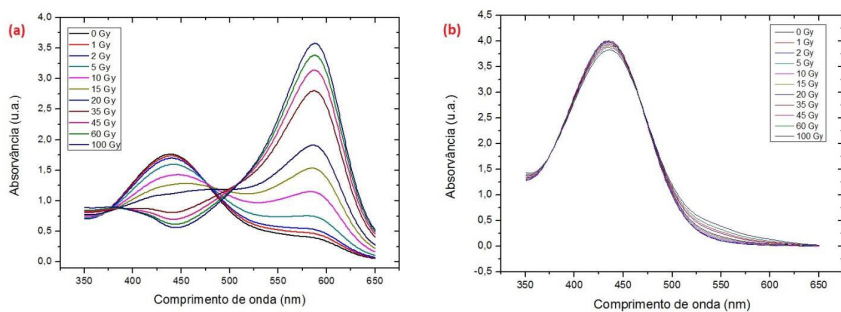


Figura 2. Espectros de absorção óptica. (a) FXG; (b) FXG-Alanina

As Figuras 3a e 3b mostram a análise dos espectros da Figura 2 subtraindo o espectro das amostras não irradiadas (referência), denominados

espectros pós-tratamento matemático dos dados. Por meio da análise dessa figura, podem ser identificadas as bandas de absorvância dos íons ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) e férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) das amostras de FXG e FXG-Alanina.

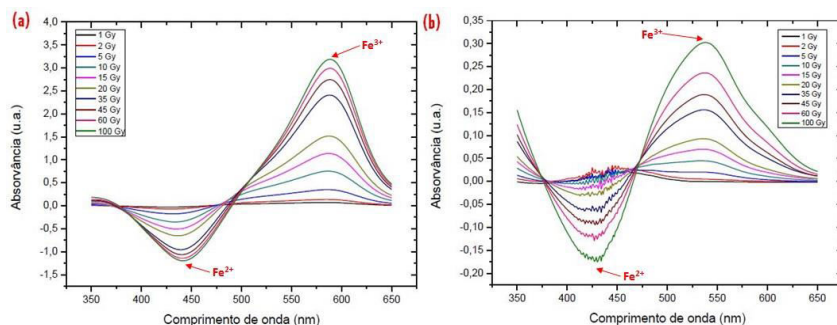


Figura 3. Espectros subtraído o espectro de referência. (a) FXG; (b) FXG-Alanina

As Figura 4a e 4b apresentam as curvas de resposta em função da dose de ambas as amostras descontando a média de três amostras de referência. O FXG apresenta comportamento linear da resposta óptica em função da dose no intervalo entre 1 e 30 Gy; e o FXG-Alanina, entre 5 e 50 Gy. A adição de alanina na solução FXG amplia o limite superior de detecção de 30 para 50 Gy.

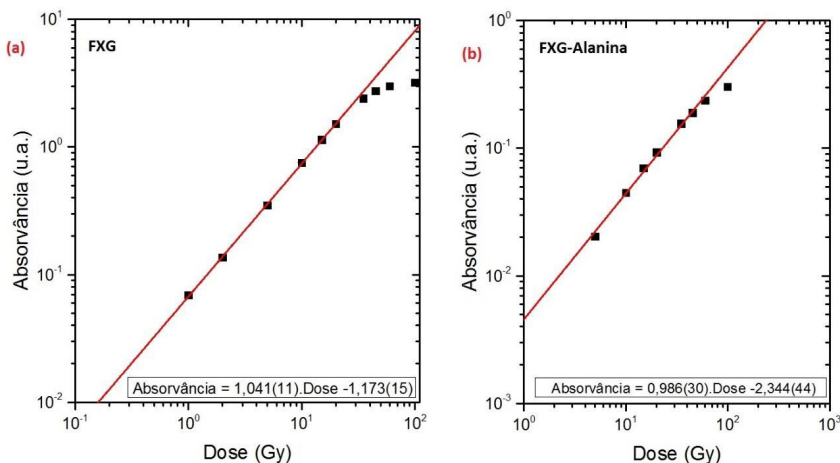


Figura 4. Curvas de resposta em função da dose. (a) FXG; (b) FXG-Alanina

Na Figura 5, pode ser observado que a concentração de 0,2 mM de AX, recomendada pela literatura (Silva, 2011), promove maior sensibilidade ao FXG-Alanina comparado a 0,1 mM.

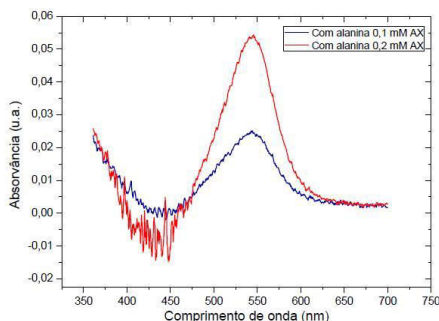


Figura 5. Espectros do FXG-Alanina variando a concentração de AX para a dose de 15 Gy

Na Figura 6 pode ser observado que a presença de alanina na solução FXG promove a diminuição da oxidação natural do  $Fe^{2+}$ , melhorando a sua estabilidade.

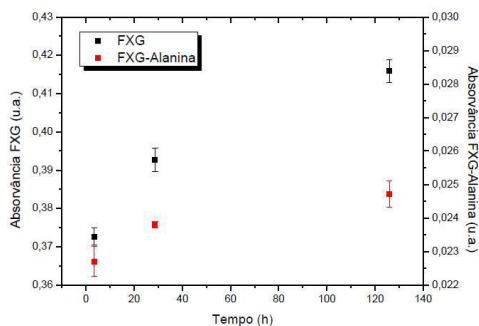


Figura 6. Oxidação natural das soluções FXG e FXG-Alanina

#### 4. CONCLUSÕES

A partir da análise de todos os resultados apresentados, conclui-se que a alanina promove maior estabilidade e aumenta o intervalo



de linearidade da resposta óptica. Verifica-se também que a variação de cor das amostras após a irradiação é característica de cada tipo de dosímetro, e que, para o dosímetro FXG-Alanina, o estudo da variação da concentração de alaranjado de xilenol indicou maior sensibilidade ao utilizar 0,2 mM de AX, comparado a 0,1 mM.

### Agradecimentos

À CNEN, FAPESP e CNPq pelo apoio financeiro e ao IPEN e CNEN por tornarem possível este trabalho. Agradecemos também ao técnico Hélio A. Paz e aos engenheiros Carlos G. da Silveira e Elizabeth S.R. Somessari, do Centro de Tecnologia das Radiações (CTR-IPEN) pelo auxílio durante as irradiações. Ao Dr. Silas Cardoso Santos pelo auxílio na parte experimental. À Claudineia F. S. Orneles e ao Aldo R. de Oliveira por auxiliarem na síntese do gel e ao Renato Giordano pela confecção do suporte das amostras.

### Referências

- Cavinato, C.C.; Campos, L.L. (2010) – Study of Fricke gel dosimeter response for different gel quality. *Journal of Physics: Conference Series*. vol. 249.
- Cavinato, C.C.; Sakuraba, R.K.; Cruz, J.C.; Campos, L.L. (2011) – Optical response of the FXG solution to different phantom materials. *Radiation Measurements*. vol 46, pp. 1928-1931.
- Gore, J.C.; Kang, Y.S.; Shoulz, R.J. (1984) – Measurement of radiation dose distributions by nuclear magnetic resonance (NMR) imaging. *Phys. Med. Biol.* pp. 1189-1197.
- Mangueira, T.F.; Silva, C.F.; Coelho, P.R.P., Campos, L.L. (2010) – Gamma/nêutron dose evaluation using Fricke gel and alanine gel dosimeters to be applied in boron neutron capture therapy, *Applied Radiation and Isotopes*. vol 68. pp. 791-794
- Mizuno, E.Y. (2007) – Desenvolvimento e caracterização de um gel alanina para aplicação na medida da distribuição da dose de radiação usando a técnica de espectrofotometria. São Paulo. Dissertação de Mestrado USP-IPEN.

Silva, C.F. (2009) – Avaliação Dosimétrica da Resposta Espectrofotométrica da Solução Gel de Alanina para Radiação Gama, de Fótons, de Elétrons e de Nêutrons Térmicos. São Paulo. Dissertação de Mestrado USP-IPEN.

Silva, C.F.; Campos, L.L. (2011) – Optical and energy dependent response of the alanine gel solution produced at IPEN to clinical photons and electrons beams. Revista Brasileira de Física Médica. pp. 115-8.