

Comparação entre os dosímetros Fricke e alanina para a dosimetria de irradiadores de sangue

A Mantuano^{1,2}, O Rodrigues Jr³, C Salata⁴, A Pickler², C L Mota^{1,2}, L de C Pacífico², L A G Magalhães² and C E de Almeida²

¹ Instituto de Física, Departamento de Física Aplicada e Termodinâmica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

² Laboratório de Ciências Radiológicas, Departamento de Ciências Radiológicas, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

³ Laboratório de Dosimetria de Doses Altas (LDA), Centro de Metrologia das Radiações (CMR), IPEN/CNEN, São Paulo, Brasil

⁴ DIAMP/CGMI, Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Rio de Janeiro, Brasil

mantuanoandrea@gmail.com

Resumo. O dosímetro Fricke vem mostrando grande potencial para a determinação na dose absorvida na água. Reconhecido como padrão primário pelo TRS398, vem mostrando resultados de alta qualidade metrológica quando utilizado em laboratórios de metrologia em alguns laboratórios no mundo. O dosímetro alanina/RPE é um padrão secundário reconhecido pela AIEA de uso em especial para doses altas para irradiações com fótons e elétrons pode ser utilizado como dosímetro secundário, de transferência e de referência, para doses entre 1Gy e 10kGy. Este trabalho teve como objetivo comparar os resultados da dosimetria realizada em irradiadores de sangue com o dosímetro Fricke pelo grupo do Laboratório de Ciências Radiológicas (LCR/UERJ) com os resultados da dosimetria realizada com alanina pelo Laboratório de Dosimetria de Doses Altas (LDA/IPEN/CNEN). Os dois laboratórios realizaram as medidas no Hemocentro do Rio de Janeiro (HEMORIO), utilizando o fantoma patenteado pelo LCR/UERJ. Os resultados apresentaram uma concordância de 2,2% entre as médias das doses na região central do fantoma com ambos os sistemas. Este trabalho apresenta os resultados preliminares sem incluir pequenas correções que estão sendo definidas através das simulações Monte Carlo, para permitir o cálculo da incerteza final em continuidade a este trabalho.

1. Introdução

Em um dosímetro químico, a dose absorvida é determinada a partir de algumas mudanças quantitativas no material, uma reação química bem caracterizada pode servir como base para o dosímetro químico.

O dosímetro Fricke é classificado como um sistema de dosimetria padrão de referência tipo I pela ISO e indicado para dosimetria absoluta primária pelo TRS 398, da grandeza dose absorvida na água [1,2]. Já o dosímetro alanina pode ser usado como um padrão secundário para dosimetria de doses altas[1,3]. A dosimetria Fricke vem sendo estudada e validada pelo grupo LCR/UERJ há mais de 10 anos, e recentemente foi proposto estudar sua aplicação na dosimetria de irradiadores de sangue [4,5].

A irradiação do sangue e de seus componentes é atualmente praticada com o objetivo principal de prevenir a doença do enxerto versus hospedeiro em pacientes imunodeficientes associada à transfusão (TA-DECH)-causando uma possível reação transfusional e uma complicação frequentemente fatal que ocorre em pacientes que recebem componentes sanguíneos celulares. Vários fatores predispoem um destinatário a esse distúrbio, e a TA-DECH, embora seja uma complicação rara da transfusão de sangue, é fatal em > 90% dos casos [6–8]. A TA-DECH se desenvolve devido à presença de linfócitos T do doador no sangue doado e que pode ser evitado pela irradiação do sangue e dos componentes do sangue doado antes da transfusão. Em pacientes com sistema imunológico saudável, os linfócitos são normalmente destruídos quando recebem o sangue da transfusão. Entretanto, em pacientes imunossuprimidos, essas células não são destruídas pelo sistema imunológico do receptor e, portanto, após a proliferação e produção de citocinas, os linfócitos podem causar uma resposta inflamatória relacionada ao TA-DECH. Assim, é sem dúvida o único método eficaz para prevenir esta doença é inativar os linfócitos doadores irradiando OS componentes sanguíneos.

Os produtos sanguíneos são em geral irradiados usando irradiação gama (com fontes ^{60}Co ou ^{137}Cs) ou raios X (com aceleradores lineares) para diminuir o risco de TA- DECH. A dose de radiação recomendada pela *Food and Drug Administration (FDA, USA)* e preconizada pela RDC nº 34 do Ministério da Saúde do Brasil/ANVISA é que a irradiação de sangue e componentes sanguíneos deve ser de no máximo 25 Gy no centro do recipiente, sem exceder 50 Gy e ser inferior a 15 Gy [9]. Assim, o controle da qualidade associado à irradiação sanguínea se faz extremamente necessário para garantir a qualidade ao produto transfundido. Artigos atuais mostram que 25 Gy é a dose mínima ideal para inativar mais de 90% dos linfócitos [10–12].

Apesar do custo elevado do equipamento de ressonância, a alanina/RPE é uma opção para as avaliações de dose no controle da qualidade de sistema de irradiação sanguínea [13,14]. De acordo com as recomendações da ISO (*International Organization for Standardization - ISO*) que recomendam o uso de cada dosímetro, o dosímetro alanina mostra-se perfeitamente indicado para corroborar as medidas realizadas com o dosímetro Fricke, ao serem usados na mesma geometria e fantoma, e, nas mesmas condições de irradiação. O principal objetivo deste trabalho é de comparar os dois sistemas para uso na dosimetria de irradiadores de sangue. Esta comparação permitirá que o dosímetro Fricke seja usado com mais segurança, complementando trabalhos anteriormente publicados [4,5].

2. Metodologia

Os dosímetros Fricke foram preparados e lidos em um espectrofotômetro de duplo feixe modelo Varian Cary 50 Bio pelo grupo do Laboratório de Ciências Radiológicas (LCR/UERJ) e a dosimetria com alanina utilizou dosímetros de alanina da marca *Gamma Service* na forma de pellets cilíndricos de aproximadamente 64,5 mg com 4,8 mm de diâmetro por 2,99 mm de altura, e avaliados em um equipamento de ressonância paramagnética eletrônica modelo EMX-Plus da Bruker, operando em banda X em condições de temperatura ambiente no Laboratório de Dosimetria de Doses Altas (LDA/IPEN/CNEN).

Os principais parâmetros experimentais escolhidos para as medidas no RPE foram: a frequência de modulação de 100kHz, amplitude de modulação de 4 G, com campo magnético centralizado em 3512 G, janela de varredura de 160 G, potência de micro-ondas de 0,6325 mW, número de varreduras para cada leitura: 10 (rotacionando a amostra na cavidade em ângulos de 120°),

Os dosímetros alanina foram enviados para o Rio de Janeiro (UERJ) para serem irradiados no HEMORIO e após as irradiações, reenviados ao IPEN para serem lidos. todas as irradiações foram realizadas utilizando um fantoma produzido no LCR/UERJ [15] feito com material *acrilonitrila*

butadieno estireno (ABS), usando uma impressora 3D. O material ABS foi escolhido por ser equivalente à água, uma vez que durante as irradiações nas clínicas são colocadas até 6 bolsas de hemocomponentes por irradiação. Este fantoma pode ser visto em detalhes na figura 1, onde são mostradas a disposição das cavidades no cilindro, numeradas de forma a identificar os resultados para as doses em Gray. O fantoma é colocado dentro do canister para irradiação, o mesmo utilizado para a realização das irradiações das bolsas de hemocomponentes.

Os dosímetros Fricke foram lidos através de espectrofotometria utilizando o espectrofotômetro *Varian Cary 50 Bio*, com comprimento de onda ajustado a 304 nm, à 25°C, com controlador de temperatura Peltier, determinando assim, as doses Fricke. O parâmetro rendimento químico da radiação dos íons férricos para a energia de ^{137}Cs ($G(\text{Fe}^{3+})$) foi usado da literatura no valor de $1,585 \pm 0,031 \cdot 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{J}^{-1}$ [16].

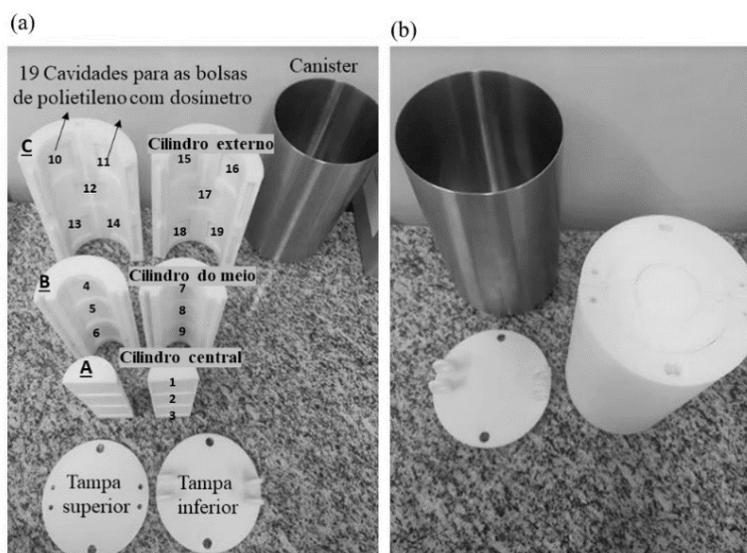


Figura 1. (a) 19 cavidades do fantoma para posicionar as bolsas de polietileno contendo os dosímetros a serem utilizados; (b) Cilindro completamente fechado para ser colocado no canister.

Os dosímetros Fricke são colocados em bolsas de polietileno de $4,0 \times 4,0 \times 0,2 \text{ cm}^3$ cada. Os pellets de alanina são colocados em outra bolsa de mesmas dimensões, porém selados em um espaço de $1,0 \times 1,0 \times 0,2 \text{ cm}^3$ para se manterem no centro de cada cavidade. Ambos os sistemas foram dispostos nas 19 cavidades do fantoma para obtenção de uma dosimetria volumétrica. A figura 2, a seguir, mostra a posição das bolsas com a solução Fricke e das bolsas com alanina (sobrepostas) no fantoma a ser colocado dentro da canister para irradiação no *Gammacell Elan 3000*, da *Best Theratronics*, com 2 fontes de ^{137}Cs com atividades de 584 Ci e 752 Ci. Foi programada uma dose de 25 Gy no centro do canister, obtida com o tempo de 5 minutos e 59 segundos. Foram feitas 3 irradiações, calculada a dose média para cada posição e para cada dosímetro.

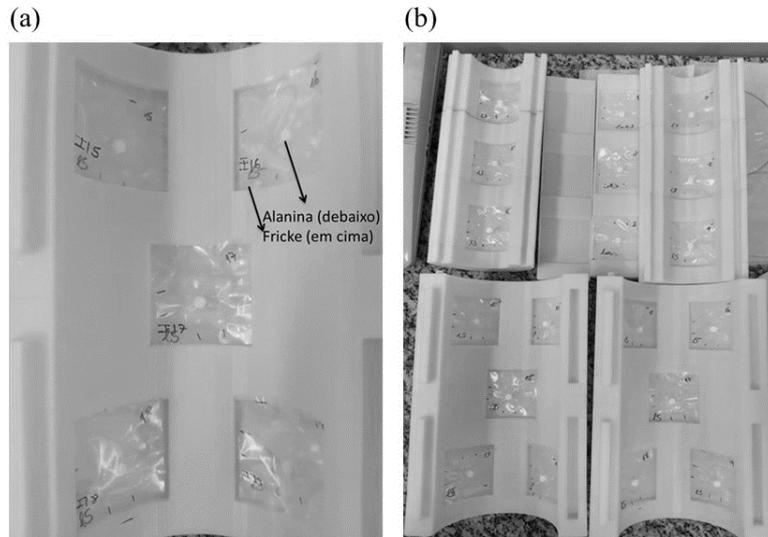


Figura 2. (a) Detalhamento do posicionamento das bolsas de polietileno com Fricke (por cima) e alanina (por baixo); (b) Posicionamento das bolsas dentro das 19 cavidades do fantoma.

3. Resultados

Os resultados apresentam concordância de até 97,8% entre as doses medidas pelos dosímetros Fricke e alanina considerando as doses médias no centro no canister, com desvio padrão de 5,7% e 3,4% para os dosímetros Fricke e alanina respectivamente. Para a média das doses nas 19 cavidades, houve uma diferença máxima de 6,2% entre os dosímetros.

A figura 3 mostra claramente essa concordância considerando os desvios padrões para cada dosímetro de acordo com as 19 posições no fantoma.

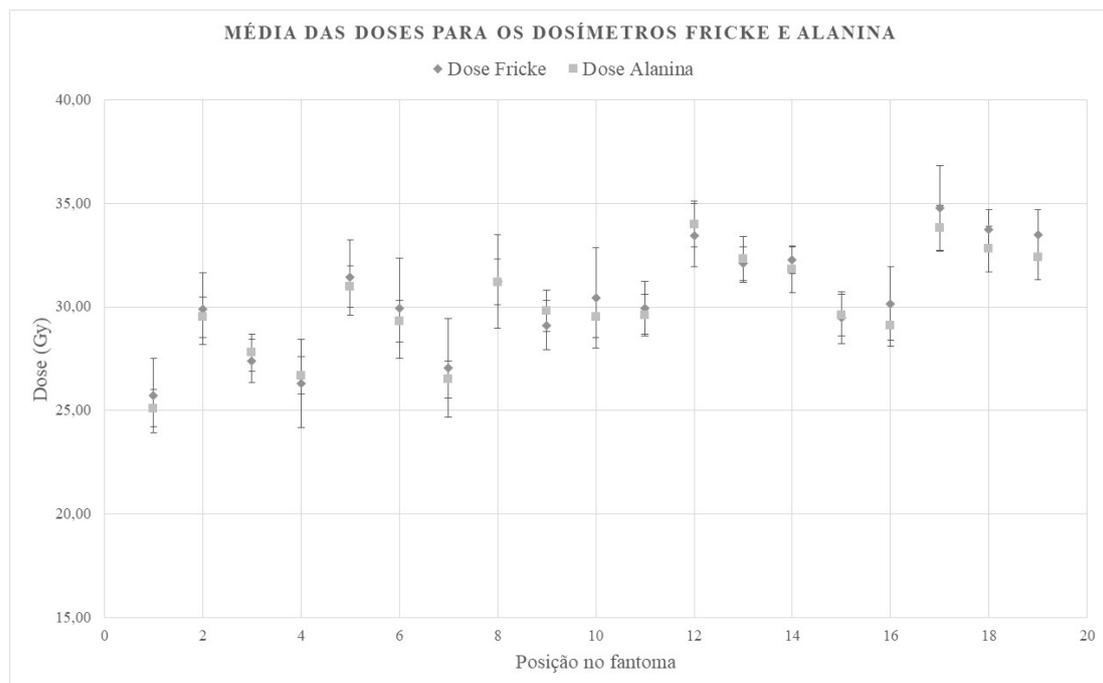


Figura 3. Médias das Doses para os dosímetros Fricke e Alanina (Gy).

4. Conclusões

Foram comparados os resultados de Dose absorvida, em Gy, medidos com os dosímetros alanina e Fricke nas mesmas condições de irradiação. Os resultados mostram que ambos os dosímetros são capazes de determinar a dosimetria em irradiadores de sangue no fantoma proposto, com discordância de apenas 2,2% entre si considerando as doses centrais valores que se encontram dentro dos desvios considerados aceitáveis pela norma [1,17,18]. Irradiações adicionais estão programadas para serem realizadas em adição as simulações em Monte Carlo para definir alguns fatores de correção e permitir o cálculo das incertezas associadas aos dois sistemas de medida.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao HEMORIO pela realização das irradiações, ao IPEN pela colaboração e pelo apoio financeiro de órgãos do Governo Brasileiro, CAPES e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

Referências

- [1] ISO/ASTM 51026 2015 ISO/ASTM 51026:2015 Practice for using the Fricke dosimetry system
- [2] IAEA TECHNICAL REPORTS SERIES No. 398 2000 IAEA TRS 398: Dosimetry and Medical Radiation Physics Section **398**
- [3] ISO/ASTM 51607 2013 American Society for Testing and Materials, Standard Practice for Use of the Alanine-EPR Dosimetry System, International Standards Organization & American Society for Testing and Materials, Designation ISO/ASTM 51607 **2013**
- [4] Mantuano A, De Amorim G J, David M G, Rosado P H G, Salata C, Magalhães L A G and Dealmeida C E 2018 Linearity and reproducibility response of Fricke dosimetry for low energy X-Ray beam *Journal of Physics: Conference Series* **975**
- [5] Mantuano A, Salata C, Mota C L, Pickler A, de Castro Pacífico L, Magalhães L A G and Eduardo de Almeida C 2020 Technical Note: Fricke dosimetry for blood irradiators *Medical Physics*
- [6] Greenbaum B H 1991 Transfusion-associated graft-versus-host disease: Historical perspectives, incidence, and current use of irradiated blood products *Journal of Clinical Oncology*
- [7] Kleinman S and Stassinopoulos A 2018 Transfusion complications **58**
- [8] Janatpour K, Denning L, Nelson K, Betlach B, MacKenzie M and Holland P 2005 Comparison of X-ray vs. gamma irradiation of CPDA-1 red cells *Vox Sanguinis*
- [9] ANVISA 2014 Resolução Da Diretoria Colegiada – Rdc N° 34, De 11 De Junho De 2014 *Dou* **113** 1–123
- [10] Button L N, Dewolf W C, Newburger P E, Kevy A N D S V, Medical H and Cancer F 1977 The Effects of Irradiation on Blood Components **21**
- [11] Borges P B, Peixoto G P, Leonardo C and G L A 2018 Mapeamento de equipamentos de radiodiagnóstico e radioterapia em uso na região norte. 1
- [12] Lama L S Del 2013 *Caracterização e Adaptação do Dosímetro Fricke para Dosimetria em Irradiação de Sangue* (Universidade de São Paulo)
- [13] C F, E W and M S 2000 ESR/Alanine gamma-dosimetry in the 10-30 Gy range *Applied radiation and isotopes : including data, instrumentation and methods for use in agriculture, industry and medicine* **52** 1195–6
- [14] F C, DT C and O B 2001 Dosimetry of blood irradiation using an alanine/ESR dosimeter *Applied radiation and isotopes : including data, instrumentation and methods for use in agriculture, industry and medicine* **55** 13–6
- [15] Mantuano A, Salata C, David M G, Mota C L, Amorim G J De and Magalhães L A G 2018 Fantoma para Irradiadores de Sangue

- [16] Fregene A O 1967 Calibration of the Ferrous Sulfate Dosimeter by Ionometric and Calorimetric Methods for Radiations of a Wide Range of Energy *Radiation Research*
- [17] Processing R and Radiation I 2018 Standard Practice for Use of an Alanine-EPR Dosimetry System 1 **2013** 1–7
- [18] ISO/ASTM 51939 2017 ASTM ISO/ASTM51939 – 17 - Standard Practice for Blood Irradiation Dosimetry **2017**