

Comparação entre o LCR/Brasil e o NRC/Canadá da dose absorvida na água usando a dosimetria Fricke

Camila Salata¹, Mariano Gazineu David ¹, Carlos Eduardo de Almeida¹, Islam El Gamal², Claudiu Cojocaru², Ernesto Mainegra-Hing², Malcom McEwen²

¹Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Laboratório de Ciências Radiológicas, Rio de Janeiro, Brasil ; ²National Research Council, Ottawa, Canada.

E-mail: mila.salata@gmail.com

Resumo: Foram comparados os padrões de dose absorvida na água para dosimetria de braquiterapia HDR, desenvolvidos pelo Laboratório de Ciências Radiológicas, Brasil (LCR) e pelo National Research Council, Canadá (NRC). As duas instituições desenvolveram padrões de dose absorvida através da dosimetria Fricke. Existem diferenças significativas entre os dois padrões, incluindo: a preparação e leitura da solução Fricke e a geometria do frasco de irradiação. As medidas foram feitas no NRC usando uma fonte de Ir-192. A comparação da dose absorvida foi expressa como a razão $Dw(NRC)/Dw(LCR)$, o valor encontrado foi 1,026.

Palavras-chave: Dosimetria Fricke; Ir-192; Braquiterapia

Abstract: The absorbed dose to water standards for HDR brachytherapy dosimetry developed by the Radiology Science Laboratory, Brazil (LCR) and the National Research Council, Canada (NRC), were compared. The two institutions have developed absorbed dose standards based on the Fricke dosimetry system. There are significant differences between the two standards as far as the preparation and read-out of the Fricke solution and irradiation geometry of the holder. Measurements were done at the NRC laboratory using a single Ir-192 source. The comparison of absorbed dose measurements was expressed as the ratio $Dw(NRC)/Dw(LCR)$, which was found to be 1.026.

Keywords: Fricke dosimetry; Ir-192; Brachytherapy

1. INTRODUÇÃO

A braquiterapia de alta taxa de dose (HDR-BT) com fontes de Ir-192 é um tipo temporário de braquiterapia, onde a fonte radioativa é colocada bem próxima ao tumor durante o procedimento de implantação do aplicador (Skowronek, 2013). Um dos problemas associados ao uso de fontes de Ir-192 está

relacionado à sua calibração. (Stump *et al.*, 2002).

Na prática clínica, a medição da dose absorvida na água é estritamente necessária. A dosimetria Fricke vem sendo estudada como uma possibilidade para medir esta grandeza de forma absoluta. De forma resumida, a dosimetria Fricke consiste em medir, por espectrofotometria, a conversão através da

radiação ionizante dos íons ferrosos presentes na solução, em íons férricos (Klassen *et al.*, 1999; Olszanski, 2002; Austerlitz *et al.*, 2008).

Apesar das medidas com a dosimetria Fricke apresentarem boa linearidade, sua metodologia exige bastante atenção e cuidado por parte do pesquisador. Impurezas orgânicas ou inorgânicas na solução podem alterar de forma significativa sua resposta linear. Talvez, por esta razão, poucos laboratórios no mundo trabalham com esta dosimetria. Entre eles estão o Laboratório de Ciências Radiológicas da UERJ (LCR), e o *National Research Council Canada* (NRC).

A proposta deste trabalho foi fazer uma comparação da medida de dose absorvida na água com a dosimetria Fricke, para fontes de Ir-192, entre o LCR e o NRC. **2. METODOLOGIAS**

2.1. O Preparo da Solução

Para o preparo da solução Fricke foram utilizados: 22 ml de ácido sulfúrico 98% (Merck), 0,06 g de cloreto de sódio (Merck) e 0,392 g de sulfato de ferro II hexahidratado (Merck), diluídos em água Mili-Q, para 1 L de solução. Segundo o LCR, a solução Fricke é preparada em um balão volumétrico limpo de 1 L, onde primeiramente o ácido é dissolvido em 300 mL de água Mili-Q, e pré-irradiado com feixe de fótons, com uma dose de 10 Gy. Após 24h os demais ingredientes são pesados em uma balança analítica, e adicionados à mistura água-ácido e, finalmente água Mili-Q é acrescentada até o volume de 1 L.

Segundo o NRC, a solução é pré-irradiada da mesma forma, e aguarda-se 24h até que os demais ingredientes sejam pesados e acrescentados. Para completar com a água mili-Q, um balão volumétrico de 2 L é colocado em uma balança, e acrescenta-se água até que a massa da solução final seja de

2042,4 g, garantindo a correta concentração dos reagentes.

2.2. Frascos para Irradiação

Os frascos desenvolvidos pelo LCR e pelo NRC, utilizados para a irradiação com a fonte de Ir-192, diferem em sua geometria e tamanho, conforme figura 1. Porém o material utilizado na sua confecção é o mesmo, PMMA. A principal diferença entre os frascos é a distância entre a fonte e o centro do compartimento onde fica a solução Fricke. Para o frasco do NRC essa distância é de 1 cm; e no caso do LCR essa distância é de 2,68 cm.

2.3. Irradiação

As irradiações dos frascos contendo a solução Fricke foram realizadas no NRC, com a fonte de Ir-192 microSelectron V2. Para ambos os frascos, do LCR e do NRC, foi utilizado o irradiador Nucletron microSelectron™ (Elekta). Para cada medida, o frasco foi posicionado no centro de um fantoma cilíndrico preenchido com água.

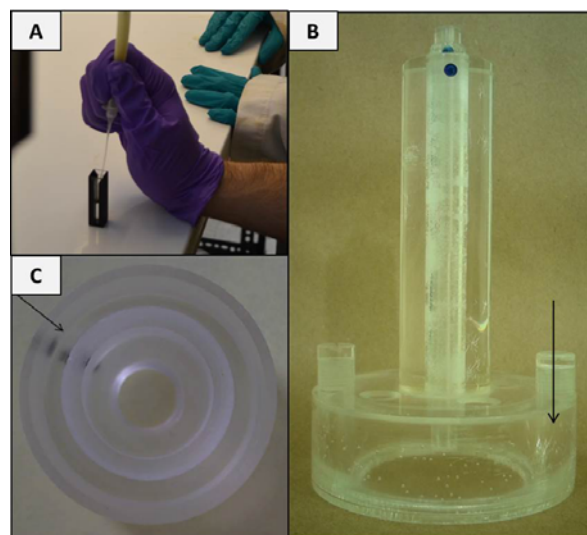


Figura 1. Irradiação da solução Fricke. A) Limpeza das cubetas utilizadas para a leitura da solução. B) Frasco do LCR C) Frasco do NRC (El-Gamal, 2013). As setas indicam o compartimento onde é colocada a solução Fricke.

Foram realizadas 9 irradiações e o tempo de cada irradiação foi de 990s. As leituras eram corrigidas para o decaimento da fonte para cada dia de irradiação. A temperatura durante a irradiação foi medida usando um termômetro imerso no fantoma de água. Diariamente, antes da primeira irradiação e após a última, foram feitas soluções controle. Essa solução consistiu na solução Fricke que permaneceu por 990s dentro do frasco, sem ser irradiada.

2.4. Leituras

Segundo a metodologia do LCR, após cada irradiação, a solução Fricke foi transferida para um Becker limpo e do Becker a solução era diretamente vertida em duas cubetas (Varian), previamente limpas, de 1cm de caminho óptico. Em relação à metodologia do NRC, a solução Fricke foi transferida diretamente do frasco para a cubeta utilizando pipetas *Pasteur* previamente limpas.

As leituras foram realizadas com o espectrofotômetro Varian Cary 400, modificado, e a absorbância da solução foi lida em 304 nm. A temperatura da solução é mantida constante, em $25,00 \pm 0,01$ °C, durante a leitura.

2.5. Cálculo da dose absorvida no Fricke

A dose absorvida na solução Fricke é calculada através da seguinte expressão:

$$D_F = \frac{\Delta OD}{G(Fe^{3+}) \cdot L \cdot \rho \cdot \varepsilon} \quad (1)$$

Onde, ΔOD é a diferença entre a absorbância da solução irradiada e a solução controle; $G(Fe^{3+})$, é o rendimento químico da reação, calculado de acordo com o método do NRC (El-Gamal, 2013); L é o caminho óptico da cubeta; ρ é a densidade da solução Fricke; e ε é o coeficiente de absorção molar.

Como as temperaturas de leitura e irradiação são importantes para o cálculo do $G(Fe^{3+})$, a

seguinte equação é utilizada para a correção deste parâmetro nas leituras;

$$\Delta OD = (OD_i - OD_c) \times [1 + 0.0012 \cdot (25 - T_i)] \times [1 + 0.0069 \cdot (25 - T_r)] \quad (2)$$

Onde OD_i é a densidade óptica da solução irradiada; OD_c é a densidade óptica da solução controle; T_i é a temperatura da solução Fricke em °C durante a irradiação; T_r é a temperatura da solução Fricke em °C durante a leitura.

3.6. Cálculo da dose absorvida na Água

Para o cálculo da dose absorvida na água alguns fatores de correção devem ser aplicados, de acordo com a equação (3). Estes fatores foram calculados pelo Método MC.

$$D_W = f \cdot p_{wall} \cdot D_F \cdot F_h \cdot k_{dd} \quad (3)$$

Onde, f é o fator de conversão da dose no Fricke para dose na água; p_{wall} é o fator de correção devido às paredes de PMMA do frasco; F_h e k_{dd} são fatores de correção para a não uniformidade da dose ao longo do eixo-X e Z;

As diferenças entre o NRC e o LCR para o cálculo da dose absorvida na água são: o LCR utiliza o código PENELOPE, enquanto que o NRC utiliza o EGSnrc; e para converter a dose de 2,68 para 1 cm, conforme mencionado no item 2.2, um fator de correção foi calculado e aplicado na equação 3, o que não ocorreu para o NRC.

3. RESULTADOS

A tabela 1 mostra o valor médio encontrado para a $D_w(LCR)$, assim como os fatores utilizados para o seu cálculo. A tabela 2 mostra as principais fontes de incerteza consideradas para o cálculo da $D_w(LCR)$.

Para a comparação dos resultados foi calculada a razão entre a dose absorvida na água encontrada usando a metodologia do NRC

($D_w(\text{NRC})$) e a mesma grandeza usando a metodologia LCR ($D_w(\text{LCR})$).

Tabela1 – Cálculo da Dose

Cálculo $D_w(\text{LCR})$	
f	1,0000
pwall	0,9992
ΔOD	0,0472
$G(\text{Fe}^{3+})$	1,6050E-06
L	1,0000
ρ	1,0230
ϵ	2183
Fh	0,9971
kdd	1,0392
Dose (Gy)	14,08

Tabela 2 – Principais Fontes de Incerteza

Fonte de Incerteza	Tipo A (%)	Tipo B (%)
Preparo da Solução		
Coef. Absorção Molar		0.35
Densidade	0.10	0.06
Leitura		
ΔOD	0.86	
Caminho óptico cubeta	0.06	0.15
Resolução espectrofotômetro		0.05
Repetibilidade espectrofotômetro		0.12
Temperatura		0.03
Fatores de Correção		
$G(\text{Fe}^{3+})$		1.09
pwall	0.04	0.20
Fh	0.07	0.20
K_{dd}	0.09	0.20
f	0.04	0.20
Incerteza Combinada		1.51
Incerteza expandida (k=2)		3.02

O valor encontrado para $D_w(\text{NRC})/D_w(\text{LCR})$ foi 1,026. Esta relação entre as doses absorvidas obtidas é interessante para validar a preparação, a irradiação e a leitura da solução Fricke usando as metodologias empregadas em ambas as instituições.

Consideramos o resultado obtido promissor, pois os sistemas comparados eram bastante distintos. Como continuação deste estudo será medido o valor do $G(\text{Fe}^{3+})$ para o Ir-192 no Brasil, usando a mesma metodologia adotada pelo NRC para medir esta grandeza.

4. REFERÊNCIAS

AUSTERLITZ, C.; MOTA, H. C.; SEMP AU, J.; BENHABIB, S. M.; CAMPOS, D.; ALLISON, R.; DEALMEIDA, C. E.; ZHU, D.; SIBATA, C. H. Determination of absorbed dose in water at the reference point $d(r_0, \theta_0)$ for an ^{192}Ir HDR brachytherapy source using a Fricke system. *Med Phys*, v. 35, n. 12, p. 5360-5, Dec 2008.

EL-GAMAL, I. M. M. **An Absorbed Dose to Water Primary Standard for Ir-192 Brachytherapy.** 2013. 89 (Master dissertation). Department of Physics, Carleton University, Ottawa.

KLASSEN, N. V.; SHORTT, K. R.; SEUNTJENS, J.; ROSS, C. K. Fricke dosimetry: the difference between $G(\text{Fe}^{3+})$ for ^{60}Co gamma-rays and high-energy x-rays. *Phys Med Biol*, v. 44, n. 7, p. 1609-24, Jul 1999.

OLSZANSKI, A. K., NV; ROSS, CK; SHORT, KR. **The IRS Fricke Dosimetry System. Report No. PIRS-0815, INMS, National Research Council, Ottawa, Ontario. 2002**

SKOWRONEK, J. Low-dose-rate or high-dose-rate brachytherapy in treatment of prostate cancer - between options. *J Contemp Brachytherapy*, v. 5, n. 1, p. 33-41, Mar 2013.

STUMP, K. E.; DEWERD, L. A.; MICKA, J. A.; ANDERSON, D. R. Calibration of new high dose rate ^{192}Ir sources. *Med Phys*, v. 29, n. 7, p. 1483-8, Jul 2002.