

## Determinação da dose absorvida na água – Avaliação dos fatores de calibração de conjuntos dosimétricos de uso em radioterapia

### Determination of absorbed dose in water - Evaluation of dosimetric factors calibration sets used in radiotherapy

Marco A. R. Fernandes<sup>1</sup>; Julia M. Fontana<sup>2</sup>; Vitor H.P.Santos<sup>2</sup>; Isabella P.F.Nunes<sup>2</sup>; Francine S. Okawabata<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Dermatologia e Radioterapia da Faculdade de Medicina de Botucatu – UNESP, Botucatu, Brasil.

<sup>2</sup>Curso de Bacharel em Física Médica - Instituto de Biociência de Botucatu - UNESP, Botucatu, Brasil.

**Resumo.** Este trabalho apresenta a metodologia para medida da taxa de dose (cGy/min) em um feixe de telecobaltoterapia, procura-se realçar a necessidade de calibração do conjunto dosimétrico utilizado e a importância da realização de dosimetria clínica periódica destes feixes de megavoltagem. Foram utilizados dois conjuntos dosimétricos com seus respectivos fatores de calibração. Os parâmetros de correção apontados nos protocolos de dosimetria foram determinados em função das câmaras de ionização utilizadas. A diferença entre o valor da taxa de dose utilizada nos cálculos da rotina do serviço e os valores obtidos neste trabalho com ambos os conjuntos dosimétricos mostrou-se inferior a 1,5%, e portanto satisfaz a tolerância máxima preconizada nos protocolos de controle de qualidade para este tipo de feixe terapêutico.

Palavras-chave: dosimetria, fator de calibração, taxa de dose, câmara de ionização, radioterapia

**Abstract.** This paper presents a methodology for measuring the dose rate (cGy/min) in a telecobaltotherapy beam, looking emphasize the need for calibration of dosimetric set used and the importance of conducting periodic clinical megavoltage dosimetry of these beams. Two dosimetric set with their respective calibration factors were used. The correction parameters indicated in dosimetry protocols were determined by ionization chambers used. The difference between the value of the dose rate used in the calculation of the service routine and the values obtained in this work with both dosimetric sets proved to be less than 1.5%, and therefore satisfies the maximum recommended tolerance on quality control protocols for this type of therapeutic beam.

Keywords: dosimetry, calibration factor, dose rate, ionization chamber, radiotherapy

#### 1. Introdução

A medida da taxa de dose absorvida na água (cGy/min) em condições de referência deve ser realizada mensalmente durante os procedimentos de dosimetria do feixe de teleterapia<sup>1,2</sup>, ou logo após a execução de ajustes radiométricos do equipamento emissor de radiação. Este procedimento de controle de qualidade em teleterapia deve ser realizado também para diferentes profundidades e dimensões de campos de tratamento.

Os instrumentos utilizados nas medidas, tais como o conjunto dosimétrico composto principalmente por eletrômetro e câmara de ionização, devem ser calibrado a cada dois anos em laboratório de metrologia acreditado pela Rede Brasileira de Calibração, para o intervalo de energia em que é aplicado<sup>3,4,5</sup>. Mesmo que os certificados de calibração ou de conformidade fornecidos pelos fabricantes dos conjuntos dosimétricos apresentem seus próprios fatores de calibração, estes não devem ser utilizados na rotina dos procedimentos de dosimetria, muito

embora, estes fatores tenham sido obtidos junto a laboratórios de calibração que possuam credenciamento junto à organismos internacionais de dosimetria e proteção radiológica.

No Brasil, a calibração nestes laboratórios, das câmaras de ionização usadas em teleterapia, normalmente se faz em feixes de cobalto-60 à distância de 100,0 cm da fonte e campo de radiação de referência com dimensões de 10,0 cm X 10,0 cm na profundidade de 5,0 cm em um objeto simulador com água e em condições normais de temperatura e pressão.

A pouca oferta de laboratórios de calibração de conjuntos dosimétricos usados em radioterapia, e a franca expansão de novos serviços, aliados à exigência da aquisição de sistemas redundantes de dosimetria (dois conjuntos dosimétricos) e à especificidade das câmaras de ionização em função das técnicas de tratamento realizadas nas clínicas de radioterapia, tem gerado longas demoras, vários meses, no intervalo de tempo entre a solicitação pela clínica do serviço de

calibração e a devolução do equipamento calibrado.

Antes de se enviar o recém adquirido conjunto dosimétrico para calibração, é interessante que se avalie o comportamento da câmara de ionização em um feixe de radiação de energia compatível com a faixa clínica. Este procedimento poderá identificar possíveis danos sofridos pelo instrumento e nortear os resultados dos testes de calibração quando do apontamento de incertezas oriundas de variações na resposta do detector.

Este trabalho apresenta os resultados da análise intercomparativa de dois conjuntos dosimétricos submetidos à um feixe de radiação em uma Unidade de Telecobaltoterapia, determinando a dose absorvida na água em condições de referencia. O fator de calibração fornecido pelo fabricante da câmara de ionização recém adquirida foi avaliado em função do comportamento da câmara diante do campo de radiação.

**2. Material e métodos**

Foram utilizados dois conjuntos dosimétricos de uso em feixes de radiação de radioterapia: C1 e C2, constituídos de eletrômetro, câmara de ionização (C.I.) cilíndrica e respectivos cabos de extensão.

O C1 é composto de um eletrômetro marca PTW Unidos E e câmara de ionização PTW-TN 30013 série 03303, com fator de calibração ( $F_{cal}$ ) igual a  $N_{DW} = 53,35 \text{ mGy/nC}$  fornecido por laboratório de calibração acreditado nacionalmente.

O C2 constituiu de um eletrômetro Sun Nuclear-PC Eletrometer e câmara de ionização PTW-TN 30013 série 00690, com fator de calibração  $N_{DW} = 54,35 \text{ mGy/nC}$  fornecido pelo fabricante internacional.

As câmaras de ionização foram colocadas, individualmente, no interior de um objeto simulador de água a 5,0 cm de profundidade e posicionadas sob o raio central do campo de radiação de abertura de  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  de uma Unidade de Telecobaltoterapia modelo Theratron 80 com distância fonte superfície da água de 80,0 cm, conforme preconizam os protocolos de dosimetria<sup>6,7</sup>.

A Figura 1 ilustra o posicionamento da C.I. no centro do campo de radiação e no interior do objeto simulador com água. A Figura 2 ilustra o arranjo geométrico dos experimentos:

Foram feitas cinco exposições consecutivas para cada uma das voltagens de alimentação da C.I., com duração de 1,0 minuto cada exposição.

O trabalho estatístico dos dados foram realizados em planilha excel e determinados os fatores de correção das leituras: fator de correção para temperatura e pressão ( $K_{TP}$ ), fator de correção devido à polarização do campo elétrico na C.I. ( $K_{pol}$ ) e fator de correção para recombinação iônica no volume sensível da C.I. ( $K_S$ ) para cada um dos conjuntos dosimétricos utilizados.



Figura 1 – Posicionamento da C.I. no objeto simulador

Exposição de 1 minuto para cada voltagem

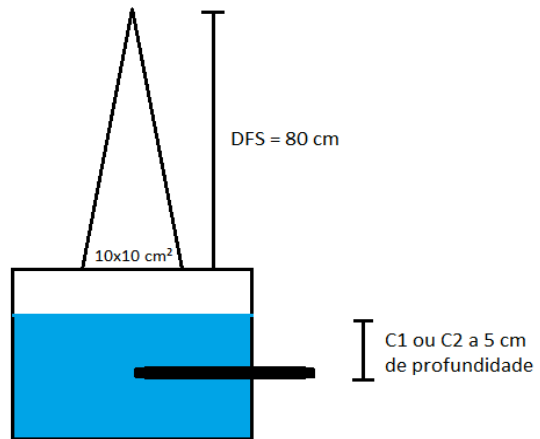


Figura 2 – Arranjo geométrico dos experimentos

As equações 1 a 3 expressam expressões matemáticas usadas para determinação destes fatores de correção<sup>6,8,9</sup>:

$$k_{TP} = [(273,2 + T)/(273,2 + T_0)] \times [P_0/P] \tag{1}$$

$$k_{pol} = [(M_+) + (M_-)] / 2M \tag{2}$$

$$k_s = [(V_1/V_2)^2 - 1] / [(V_1/V_2)^2 - (M_1/M_2)] \tag{3}$$

onde:

T = temperatura média da água durante a realização das medidas;

T<sub>0</sub> = temperatura durante a calibração da C.I. no laboratório de calibração (20°C para o C1 e 22°C para o C2);

P = pressão atmosférica durante a realização das medidas;

P<sub>0</sub> = pressão atmosférica no laboratório de calibração (101,325 kPa para ambos C1 e C2);

M<sub>+</sub> = leitura do eletrômetro para a polaridade positiva;

M<sub>-</sub> = leitura do eletrômetro para a polaridade negativa;

M = leitura do eletrômetro para a polaridade utilizada na rotina das dosimetrias do serviço;

$V_1$  = maior voltagem oferecida pelo eletrômetro (302 V) – usada na rotina das dosimetrias;

$V_2$  = voltagem reduzida oferecida pelo eletrômetro (151 V);

$M_1$  = leitura do eletrômetro obtida com a voltagem  $V_1$ ;

$M_2$  = leitura do eletrômetro obtida com a voltagem  $V_2$ ;

A leitura corrigida (M) do eletrômetro é dada pela equação 4.

$$M = (M_1) \times (K_{TP}) \times (K_{elec}) \times (K_{pol}) \times (K_s) \quad (4)$$

Onde  $K_{elec}$  é o fator de correção para o eletrômetro, que neste trabalho é igual a unidade (calibração simultânea do conjunto eletrômetro, C.I. e cabo extensor), os demais fatores estão identificados acima.

A taxa de dose absorvida na água nas condições de referência ( $D_w(Z_{ref})$ ) é fornecida pela equação 5, onde  $N_{D,w}$  é o valor do fator de calibração fornecido pelo laboratório de calibração.

$$D_w(Z_{ref}) = M N_{D,w} \quad (5)$$

O rendimento da fonte de radiação, utilizado na rotina dos cálculos do tempo de tratamento é determinado pela taxa de dose absorvida na água avaliada na profundidade de dose máxima (região de equilíbrio eletrônico do feixe de radiação = 0,5 cm para energia do cobalto-60), ilustrada na equação 6.

$$D_w(Z_{max}) = 100 D_w(Z_{ref}) / PDP(Z_{ref}) \quad (6)$$

Onde  $PDP(Z_{ref})$  é o valor da porcentagem de dose na profundidade de referência (5,0 cm) em relação à dose medida na profundidade de dose máxima ( $Z_{max}$ ), neste trabalho foi considerado o valor de  $PDP(Z_{ref}) = 78,8\%$ .

Fernandes e colaboradores<sup>10</sup> mostraram a importância da medida dos parâmetros de temperatura e pressão atmosférica durante os procedimentos de dosimetria, ilustrando a variação de  $K_{TP}$  em função da altitude da cidade e da temperatura durante a realização das medidas de dosimetria. O estudo apresenta valores de  $K_{TP}$  calculados entre  $K_{TP} = 0,938$  para cidades de 50 m de altitude na temperatura de 0°C até valores de  $K_{TP} = 1,215$  para cidades com 1000 m de altitude à temperatura de 40°C.

A cada 1°C de erro na determinação da temperatura pode-se observar cerca de 0,341% de variação em  $K_{TP}$ . A cada 1 kPa de erro na determinação da pressão atmosférica, a variação no valor de  $K_{TP}$  pode atingir um percentual da ordem de 1,05%<sup>10</sup>. Como estes parâmetros influenciam de forma inversa no cálculo do  $K_{TP}$  (quanto maior a temperatura medida, maior o valor calculado de  $K_{TP}$  o inverso ocorre para a pressão atmosférica) a combinação de erros das suas medidas podem representar valores equivocados

de  $K_{TP}$  calculado, o que representa em erros na determinação da taxa de dose absorvida na água.

A incerteza combinada na determinação da  $D_w(Z_{ref})$  para um feixe de Co-60 é da ordem de 0,9%, já considerando as incertezas relativas estimadas oriundas dos procedimentos realizados no laboratório de calibração da C.I. e as provenientes dos ajustes dos fatores de correções e condições de funcionalidade do conjunto dosimétrico quando exposto ao feixe de radiação do usuário<sup>6</sup>.

### 3. Resultados

A Tabela 1 apresenta os valores das médias das leituras em nanocoulomb (nC) obtidas para os dois conjuntos dosimétricos analisados com tempo de exposição de 1,0 minuto.

**Tabela 1.** Médias das leituras dos eletrômetros

Tensão	Leituras com C <sub>1</sub>		Leituras com C <sub>2</sub>	
	Média (nC)	SD%	Média (nc)	SD%
-300 V	-15,800	-0,20	16,826	0,01
300 V	18,300	0,24	-16,839	-0,02
-150 V	-15,760	-0,16	16,804	0,02

Os valores médios de temperatura anotados durante as leituras foram: 25,60°C durante as medidas com o C1 e 24,72°C nas medidas com o C2. Em ambos os experimentos o valor de pressão atmosférica anotado foi de 94,29 kPa.

Os valores dos fatores de correção obtidos para os conjuntos C1 e C2 foram:  $K_{TP} = 1,095$ ,  $K_{pol} = 1,079$  e  $K_s = 1,001$  para o C1, e  $K_{TP} = 1,085$ ,  $K_{pol} = 1,000$  e  $K_s = 1,000$  para o C2.

A Tabela 2 apresenta os valores das leituras corrigidas dos eletrômetros ( $M_{cor}$ ), da taxa de dose absorvida na água na profundidade de referência ( $D_w Z_{ref}$ ) e o correspondente valor determinado na profundidade de dose máxima ( $D_w Z_{max}$ ).

**Tabela 2.** Valores da taxa de dose absorvida na água

Valores com C1			Valores com C2		
$M_{cor}$	$D_w Z_{ref}$	$D_w Z_{max}$	$M_{cor}$	$D_w Z_{ref}$	$D_w Z_{max}$
(nC)	(cGy/min)	(cGy/min)	(nC)	(cGy/min)	(cGy/min)
18,688	99,702	126,526	18,264	99,262	125,967

O valor nominal do rendimento da Unidade de Telecobaltoterapia utilizado na rotina dos cálculos do tempo de tratamento, no dia dos experimentos era de 127,65 cGy/min. Os erros percentuais encontrado foram: 0,88% para o conjunto dosimétrico C1 e 1,32% para o C2.

Considerando apenas os fatores de correção relacionados com a constituição da C.I., quer sejam: o  $K_{pol}$  e o  $K_s$ , e relacionando os valores das leituras absolutas (nC) dos respectivos eletrômetros apresentadas na Tabela 1 para a voltagem de -300V encontra-se a razão  $M_{C1}/M_{C2} = 1,0142$ . Multiplicando este valor pelo fator de calibração fornecido para o conjunto C2, obtém-se

um novo fator igual a 55,123 mGy/nC. Utilizando este novo valor e as leituras corrigidas do eletrômetro do conjunto C2, o novo valor da taxa de dose absorvida na profundidade de referência será: 100,634 cGy/min, o que corresponde a um valor de 127,71 cGy/min em  $Z_{max}$ , resultando em um erro percentual de 0,05% em relação ao valor nominal usado na rotina dos cálculos do tempo de tratamento.

Esta co-relação apenas ilustra uma consistência das leituras realizadas com o conjunto dosimétrico C2 recém adquirido e ainda não calibrado em laboratório acreditado no Brasil, atestando as condições de funcionalidade deste conjunto. Para uso na rotina de dosimetria clínica, é imperativa a obtenção do fator de calibração do conjunto dosimétrico em laboratórios de calibração acreditado pela Rede Brasileira de Calibração<sup>2,3,4</sup>, muito embora, a literatura<sup>6</sup> apresente métodos para se obter o fator de calibração interno de câmaras de ionização de campo utilizando feixe de Co-60 nas condições de usuário e uma C.I. previamente calibrada.

#### 4. Discussão

A comparação entre os valores determinados para os fatores de correção  $K_{pol}$  e  $K_S$  para os dois diferentes conjuntos dosimétricos pode servir de alerta quanto à possíveis danos nos componentes do eletrômetro e da câmara de ionização, devido principalmente ao seu uso constante em procedimentos rotineiros de dosimetria.

Comparando o fator de calibração do conjunto C2 fornecido pelo fabricante internacional (PTW -  $N_{DW} = 54,35$  mGy/ue) com aquele fornecido pelo laboratório nacional (IPEN -  $N_{DW} = 53,61$  mGy/ue) 14 meses depois da sua aquisição, tem-se uma diferença de 1,4%. Para o conjunto C1, os dois últimos fatores de calibração fornecidos pelo mesmo laboratório de calibração nacional apresentam uma variação de 0,97%.

#### 5. Conclusões

Comparando os valores da taxa de dose absorvida em condições de referência obtida neste trabalho, para os dois conjuntos dosimétricos analisados, com o valor utilizado na rotina dos cálculos do tempo de tratamento, os erros percentuais estão em conformidade com os desvios máximos tolerados (até 2,0%) pelos protocolos de controle de qualidade em radioterapia<sup>1,3,6</sup>.

Este fato sugere que a metodologia de cálculo e os testes dosimétricos realizados podem indicar a condição de funcionalidade de um conjunto dosimétrico ainda não submetido à calibração em laboratório nacional.

O uso da razão  $M_{C1}/M_{C2}$  para ajuste do fator de calibração do conjunto dosimétrico C2 proporcionou um valor de  $D_w(Z_{max})$  mais próximo do valor teórico usado na rotina, com um erro percentual de 0,05%, o que também confirma a

exequibilidade dos ensaios propostos neste trabalho.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem aos profissionais do Serviço de Radioterapia do Hospital Estadual Manoel de Abreu de Bauru pela disponibilidade dos equipamentos de dosimetria e unidade de telecobaltoterapia, em especial na pessoa do Dr. Cazuô Arakawa.

#### Referências

1. Ministério da Saúde - Instituto Nacional de Câncer (INCA). Programa de Qualidade em Radioterapia. TEC DOC 1151. Aspectos Físicos da Garantia da Qualidade em Radioterapia – Protocolo de Controle de Qualidade. INCA. Rio de Janeiro: [acessado em 10/07/2013]. Disponível em <http://www.inca.gov.br>.
2. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 20 (02/02/2006). Estabelece o Regulamento Técnico para o Funcionamento de Serviços de Radioterapia. ANVISA. Brasília: [acessado em 23/09/2013]. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>.
3. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Norma-CNEN-NN-3.01:2011. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Resolução nº. 27/2005 e 114/2011. CNEN. Rio de Janeiro: [acessado em 26/09/2013] Disponível em: <http://www.cnen.gov.br>.
4. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Resolução nº. 130 de 31/05/2012. Dispõe sobre os requisitos necessários para a segurança e a proteção radiológica em Serviços de Radioterapia. CNEN. Rio de Janeiro: [acessado em 26/09/2013]. Disponível em <http://www.cnen.gov.br>.
5. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Norma-CNEN-NE-3.06. Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Radioterapia. CNEN. Rio de Janeiro: [acessado em 24/09/2013]. Disponível em <http://www.cnen.gov.br>.
6. International Agency Atomic Energy Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy. Technical Reports Series N°. 398. Vienna: IAEA; 2000.
7. Attix FH. Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry. Madison, Wisconsin: Wiley-VCH; 2004.
8. Scaff, LAM. Física na Radioterapia A Base Analógica de uma Era Digital. São Paulo: Editora Projeto Saber; 2010.
9. Podgorsak EB. Technical Editor. Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students". Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). Vienna. 2005.
10. Fernandes MAR, Nagamatsu RY, Castelli NC, Nascimento MV, Lima FM, Flávis JM, et al. Avaliação do Índice de Radiação Ionizante Natural e Exposição Solar na Região de Araçatuba - SP. Universitas (Araçatuba) 2011; 4(1):151-166. Anais do XV CBFM; 2010; Aracajú-SE; Brasil.

#### Contato:

Marco Antônio Rodrigues Fernandes  
Departamento de Dermatologia e Radioterapia  
Faculdade de Medicina de Botucatu – UNESP-  
Distrito de Rubião Junior s/nº - CEP: 18618-970  
E-mail: [marfernandes@fmb.unesp.br](mailto:marfernandes@fmb.unesp.br)