



## ESTUDO DE PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO METROLÓGICA DO TAMANHO DE CAMPO IRRADIADO POR ACELERADORES LINEARES.

*Nilmara Almeida Guimarães<sup>1</sup>-Elisabeth Costa Monteiro<sup>2</sup>; Cássia Ribeiro Ponciano<sup>3</sup>, Roberto Salomon de Souza<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)/ Pós-MQI, Rio de Janeiro, Brasil, nilaguimaraes@hotmail.com

<sup>2</sup> Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)/ Pós-MQI, Rio de Janeiro, Brasil, beth@puc-rio.br

<sup>3</sup> Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)/ Pós-MQI, Rio de Janeiro, Brasil, cassia@fis.vdg.puc-rio.br

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Câncer (INCA)/Programa de Qualidade em Radioterapia (PQRT), Rio de Janeiro, Brasil, salomon@inca.gov.br

**Resumo:** Recentes alterações no panorama regulamentar dos serviços de radioterapia, com a implementação da RDC/ANVISA n 20, em 2006, pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), resultaram na indicação do uso do densitômetro óptico, como parte do controle da qualidade. Questões associadas à implementação prática dos recentes requisitos para medição do tamanho de campo irradiado e a recente disponibilidade de filmes radiocrômicos potencialmente úteis para o controle de qualidade em radioterapia motivaram a realização do presente trabalho. Foram empregados três diferentes procedimentos para avaliação do tamanho de campo irradiado por aceleradores lineares utilizados em treze serviços de radioterapia localizados no Estado do Rio de Janeiro, utilizando filmes radiocrômicos EBT QD+, RTQA, densitômetro óptico DensiX tipo T52001 e scanner de transmissão Microtek. Os resultados destacam a contribuição das fontes de incerteza de medição para cada procedimento realizado e 92% dos aceleradores lineares avaliados apresentaram não-conformidade em relação ao tamanho de campo irradiado. Em conclusão, confirma-se a necessidade da medição da densidade óptica na avaliação, indicando-se a utilização do scanner de transmissão e filme EBT QD+ como procedimento mais apropriado para avaliação de conformidade do campo irradiado.

**Palavras-chave:** 1. Metrologia. 2. Acelerador Linear. 3. Controle da Qualidade. 4. Tamanho de Campo Irradiado 5. Radioterapia.

### 1. INTRODUÇÃO

O tratamento do câncer por meio da radioterapia é realizado utilizando radiações ionizantes para destruir ou impedir a expansão de células neoplásicas.

A garantia de qualidade em radioterapia, estabelecida por meio de um programa de controle de qualidade, é essencial para fornecer tratamentos confiáveis aos pacientes. Por meio dos testes do controle de qualidade verifica-se o atendimento a requisitos de qualidade e identifica-se a necessidade de correções para o adequado desempenho dos equipamentos.

O programa de controle de qualidade pressupõe que todo o equipamento seja avaliado com protocolos validados.

No Brasil, o regulamento CNEN-NE-3.06 [1], aprovado em 1990 pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, define a obrigatoriedade do controle da qualidade em radioterapia. Adotou-se como referência o Protocolo TECDOC-1151 [2], da Agência Internacional de Energia Atômica, o qual visa padronizar os parâmetros básicos da teleterapia e da braquiterapia.

Recentes alterações no panorama regulamentador dos serviços de radioterapia, com a implementação da RDC/ANVISA n 20, em 2006, pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) [3], resultaram na indicação do uso de densitômetro óptico, como parte do controle da qualidade. Questões associadas à implementação prática dos recentes requisitos para medição do tamanho de campo irradiado e a recente disponibilidade no mercado de novos filmes de verificação potencialmente úteis para o controle de qualidade em radioterapia motivaram a realização do presente trabalho.

### 2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho consiste no estudo das contribuições da incerteza de medição na avaliação de conformidade do tamanho de campo irradiado, por meio de três diferentes procedimentos considerando: a prática convencional nos serviços de radioterapia que utiliza régua; o uso do densitômetro óptico; uma terceira alternativa utilizando scanner de transmissão.

### 3. MÉTODOS

A avaliação do tamanho de campo irradiado foi realizada em treze aceleradores lineares pertencentes a serviços de radioterapia localizados no Estado do Rio de Janeiro.

Conforme recomendado no Protocolo TECDOC-1151, filmes radiocrômicos EBT QD+ e RTQA foram irradiados pelo próprio operador responsável pelo controle de qualidade de cada serviço de radioterapia cujo acelerador foi avaliado.

Foram realizados três diferentes procedimentos (A, B e C) para medição do tamanho de campo irradiado, ao longo dos eixos X e Y em três posições diferentes (Figura 1):

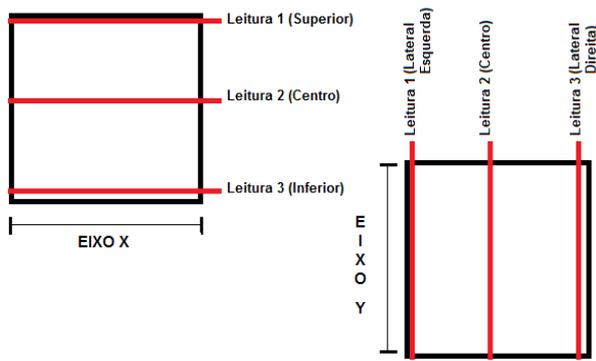


Figura 1 – Posição de leitura do comprimento dos eixos X e Y do campo irradiado.

**Procedimento A<sub>EBT QD+</sub>** – Neste procedimento foram utilizados filmes radiocrômicos EBT QD+ para irradiação de dois campos com tamanho selecionado de 10 cm x 10 cm, conforme indicado pelo tamanho de campo luminoso do acelerador linear, e doses de aproximadamente 2,0 Gy e 4,0 Gy. Devido à relação de dose e enegrecimento do filme, cada campo foi irradiado em metades distintas do filme radiocrômico. Os tamanhos de campo foram medidos ao longo dos eixos X e Y, com uso de uma régua calibrada (Figura 1). Cada eixo foi medido em três posições diferentes, para avaliar o tamanho de campo em sua totalidade já que o campo é formado por colimadores e os mesmos podem estar assimétricos, formatando campos irregulares.

**Procedimento A<sub>RTQA</sub>** – Neste procedimento foram utilizados filmes radiocrômicos RTQA+ para irradiação de dois campos com tamanho selecionado de 10 cm x 10 cm, conforme indicado pelo tamanho de campo luminoso do acelerador linear, e doses de aproximadamente 0,5 Gy e 1,0 Gy. Cada campo irradiado estava localizado em metades distintas do filme radiocrômico. Os tamanhos de campo foram medidos com uso de uma régua calibrada nos eixos X e Y (Figura 1).

**Procedimento B<sub>EBT QD+</sub>** – Neste procedimento foram utilizados filmes radiocrômicos EBT QD+ para irradiação de dois campos com tamanho selecionado de 10 cm x 10 cm, conforme indicado pelo tamanho de campo luminoso do acelerador linear, e doses de aproximadamente 2,0 Gy e 4,0 Gy devido à relação de dose e enegrecimento do filme. Cada campo irradiado estava localizado em metades distintas do filme radiocrômico. Os tamanhos de campo foram medidos com uso de uma régua calibrada no eixo X e Y (Figura 1) após a marcação do campo real com o auxílio do densitômetro óptico DensiX tipo T52001 e uma caneta marcadora.

Para marcação do campo irradiado real foi necessário medir a densidade óptica central do campo revelado e do filme sem radiação (também chamado de *background*). Subtraiu-se o valor de *background* do valor de densidade óptica central do campo, este resultado foi dividido por dois para encontrar o valor referente a 50% da dose irradiada no centro do campo, que corresponde à densidade óptica das bordas do campo irradiado. Com este valor determinado, foi posicionado o densitômetro óptico nas bordas do campo irradiado para encontrar o valor de 50% de dose irradiada no centro e assim marcar a borda real.

Cada eixo foi medido em três posições diferentes (Figura 1), para avaliar o tamanho de campo em sua totalidade.

**Procedimento B<sub>RTQA</sub>** – Este procedimento não pode ser realizado, pois o filme RTQA possui uma camada opaca. Esta camada impede que a luz emitida pelo densitômetro óptico seja transmitida para o sensitômetro, o que impede a medição da densidade óptica do filme.

**Procedimento C<sub>EBT QD+</sub>** – Neste procedimento foram utilizados os filmes radiocrômicos EBT QD+ irradiados pelo Procedimento A<sub>EBT QD+</sub>, os filmes foram varridos com o Scanner Microtek no modo de transmissão e os tamanhos de campo irradiado foram medidos com uso do software DoseLab 4. Para a medição do tamanho de campo, foi necessário processar a imagem, selecionando o canal vermelho do RGB (*Red-Green-Blue*) por meio do software Image J [4, 5, 6, 7].

**Procedimento C<sub>RTQA</sub>** – Neste procedimento foram utilizados os filmes radiocrômicos RTQA+ irradiados no Procedimento A<sub>RTQA</sub>. Os mesmos foram varridos com o Scanner Microtek no modo de reflexão e os tamanhos de campo irradiado foram medidos com uso do software DoseLab 4.

Considerando que o software DoseLab 4 indica apenas o comprimento dos eixos centrais de X e Y, para possibilitar a comparação entre os resultados obtidos com os procedimentos A, B e C, realizou-se uma adaptação no uso do DoseLab 4 para efetuar a medição do tamanho de campo irradiado segundo a Figura 1.

Assim como no procedimento B, foram determinados os valores, em pixels, das bordas dos campos formatados a 50% da dose central do campo irradiado (Figura 2).

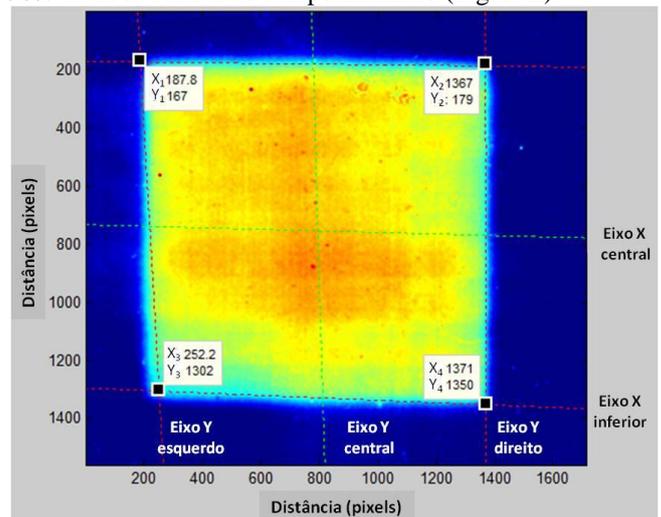


Figura 2 – Método para medição do comprimento dos eixos X e Y com o uso do DoseLab 4 após definição dos pontos (x, y) nas bordas do campo irradiado identificado pelas linhas tracejadas em cor vermelha.

Após aquisição dos valores (x1, y1); (x2, y2); (x3, y3) e (x4, y4), foram realizados os cálculos segundo o conjunto de Equações (1).

A Tabela 1 apresenta os dispositivos utilizados em cada um dos procedimentos realizados no presente trabalho.

$$\begin{aligned} \text{Eixo}_x \text{ (superior)} &= \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \\ \text{Eixo}_x \text{ (inferior)} &= \sqrt{(x_3 - x_4)^2 + (y_3 - y_4)^2} \\ \text{Eixo}_y \text{ (esquerdo)} &= \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2} \\ \text{Eixo}_y \text{ (direito)} &= \sqrt{(x_4 - x_2)^2 + (y_4 - y_2)^2} \end{aligned} \quad (1)$$

**Tabela 1 – Material utilizado nos procedimentos de medição do tamanho de campo irradiado**

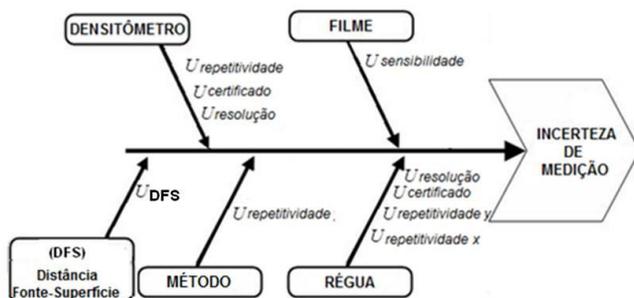
Procedimento	Régua calibrada	Densitômetro Óptico	Scanner	RTQA	EBT	DoseLab 4	Image J
A <sub>E<sub>BT</sub> QD+</sub>	X				X		
A <sub>RTQA</sub>	X			X			
B <sub>E<sub>BT</sub> QD+</sub>	X	X			X		
C <sub>RTQA</sub>			X	X		X	
C <sub>E<sub>BT</sub> QD+</sub>			X		X	X	X

Para todos os procedimentos descritos, nos filmes radiocrômicos foram irradiados campos de tamanho 10 cm x 10 cm, com distância de 100 cm entre o gantry do acelerador linear e o filme. Para evitar a contaminação e desperdício do filme, utilizaram-se luvas cirúrgicas e os filmes radiocrômicos RTQA+ foram cortados no tamanho aproximado de 25 cm x 30 cm. Os filmes irradiados foram armazenados em envelope de papel pardo para posterior medição do tamanho de campo.

Os filmes radiocrômicos foram irradiados com feixes de fótons, com tensões elétricas de 4 MV ou 6 MV.

Após a aquisição de dados e registro das medições, foram efetuados tratamentos estatísticos como estimativas de incertezas de medição com base no Guia para Expressão da Incerteza de Medição (ISO GUM)[8].

Uma boa maneira de identificar as fontes de incerteza é utilizar o diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito [9]. Assim, para obter a incerteza do processo de medição, é necessário avaliar, dentre suas fontes, quais afetam o resultado de medição e quantificar estes componentes. A Figura 3 apresenta o diagrama de Ishikawa adaptado para estimativa de incerteza de medição do presente trabalho.



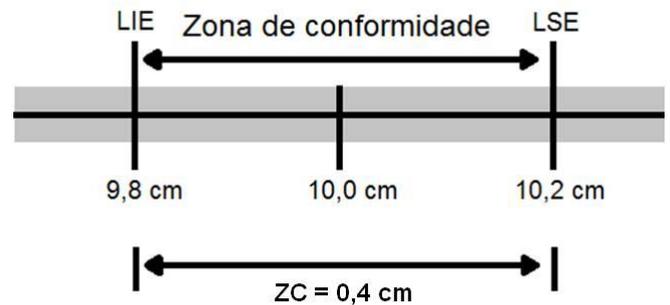
**Figura 3 – Diagrama de causa e efeito, aplicado à incerteza de medição do tamanho de campo irradiado. Adaptado de [9].**

### 3.1. CONFIABILIDADE METROLÓGICA DO TAMANHO DE CAMPO IRRADIADO

A avaliação metrológica do tamanho de campo irradiado (TCI) por aceleradores lineares é baseada na avaliação da zona de aceitação, em que considera o erro máximo admissível ( $\pm 0,2$  cm) definido pelo TECDOC-1151, e a estimativa da incerteza de medição.

O valor numérico do intervalo, calculado pela diferença entre os limites superior (LSE) e inferior (LIE) de especificação do erro máximo permissível, é denominado de zona de conformidade (ZC). Recomenda-se que o sistema de medição tenha incerteza inferior a 1/10 de ZC.

A Figura 4 apresenta o erro máximo admissível recomendado pelo TECDOC-1151 e utilizado na presente pesquisa para medição do tamanho de campo de 10 cm x 10 cm.



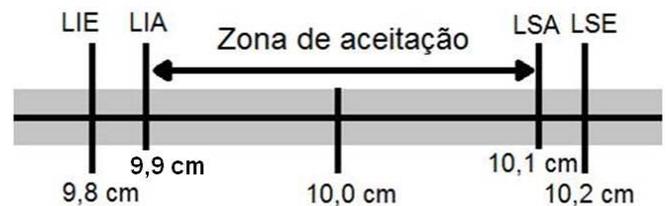
**Figura 4 – Zona de Conformidade (ZC) estabelecida pelo TECDOC-1151 e utilizado na avaliação metrológica do tamanho de campo irradiado de 10 cm x 10 cm.**

O intervalo de aceitação, para uma medição específica, é o conjunto de valores do resultado-base, para os quais todo resultado da medição permanece integralmente dentro da zona de conformidade. Os limites superior (LSA) e inferior (LIA) de aceitação são calculados considerando a incerteza de medição (IM) obtida durante a avaliação e os limites do erro máximo permissível especificados no protocolo TECDOC-1151 (LIE e LSE), conforme a Equação (2) e a Equação (3).

$$\text{LIA} = \text{LIE} + \text{IM} \quad (2)$$

$$\text{LSA} = \text{LSE} - \text{IM} \quad (3)$$

A Figura 5 apresenta o intervalo de aceitação utilizado no presente trabalho, de acordo com o erro máximo admissível indicado pelo protocolo TECDOC-1151 para o valor do tamanho de campo previsto de 10 cm x 10 cm, considerando como exemplo a incerteza de medição de  $\pm 0,1$  cm.



**Figura 5 – Simulação do intervalo de aceitação do presente trabalho, considerando uma incerteza de  $\pm 0,1$  cm.**

Os resultados das medições de tamanho de campo irradiado são comparados com o intervalo de aceitação. Caso o TCI ultrapasse o intervalo de aceitação, o acelerador linear é considerado não-conforme neste parâmetro, caso seja inferior, é considerado conforme neste parâmetro.

Segundo o critério de conformidade vigente, que não considera a incerteza de medição durante o teste, a conformidade depende somente de LIE e LSE. O critério proposto no presente trabalho reduz a zona de aceitação para LIA e LSA (Equações 20 e 21).

#### 4. RESULTADOS

Os valores de incerteza de medição, tipo A e demais fontes de incerteza estimadas para um desvio-padrão, para o tamanho de campo irradiado por aceleradores lineares, avaliados por meio dos procedimentos A, B e C são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de incertezas de medição absolutas (a 68%)

L I N E A C	VALORES DE INCERTEZAS TIPO A à 68% (em cm)									
	EIXO X					EIXO Y				
	A EBT	A RTQA	B EBT	C RTQA	C EBT	A EBT	A RTQA	B EBT	C RTQA	C EBT
1	0,03	0,06	0,08	0,23	0,02	0,08	0,08	0,03	0,66	0,06
2	0,03	0,03	-	-	-	0,05	0,05	-	-	-
3	0,00	0,10	0,00	0,04	0,02	0,00	0,06	0,03	0,64	0,04
4	-	0,10	-	0,34	-	-	0,06	-	0,07	-
5	-	0,00	-	0,04	-	-	0,00	-	0,04	-
6	-	0,06	-	0,24	-	-	0,10	-	0,05	-
7	0,10	0,00	0,03	0,27	0,13	0,08	0,12	0,03	0,05	0,04
8	0,05	0,12	0,03	0,36	0,25	0,05	0,12	0,03	0,41	0,12
9	0,00	0,03	0,05	0,04	0,09	0,03	0,06	0,03	0,03	0,22
10	0,03	0,03	0,05	-	0,11	0,03	0,00	0,05	-	0,02
11	0,06	0,06	0,00	0,59	0,03	0,05	0,06	0,10	0,74	0,09
12	0,05	0,03	0,08	0,40	0,12	0,03	0,06	0,05	0,15	0,74
13	0,00	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03	0,02

VALORES DE INCERTEZA à 68% (em cm) POR PROCEDIMENTOS					
FONTE DE INCERTEZA	A EBT	A RTQA	B EBT	C RTQA	C EBT
DFS	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
CERTIFICADO DA RÉGUA	0,0048	0,0048	0,0048	-	-
RESOLUÇÃO DA RÉGUA	0,02	0,02	0,02	-	-
RESOLUÇÃO DO SCANNER	-	-	-	0,0049	0,0049
REPETITIVIDADE DO METODO	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03

As medições realizadas por meio do Procedimento C apresentaram elevadas incertezas tipo A para os aceleradores lineares (1; 3; 4; 6; 7; 8; 9; 11 e 12). Considerando que este procedimento tenha descartado a penumbra gerada pelo acelerador linear, esta incerteza identifica o quanto o campo irradiado estava irregular, já que o mensurando é variável e foi medido em três posições distintas de um mesmo eixo.

Quando se compara as demais fontes de incerteza de medição, como a incerteza da resolução do scanner, o Procedimento C possui menores valores de incertezas absolutas. Portanto, os maiores valores das incertezas expandidas (Figura 6) obtidas com tal procedimento provavelmente indicam uma maior capacidade do procedimento para detectar as não-uniformidades dos limites de campo irradiado, quando comparado aos demais procedimentos.

A Tabela 3 apresenta o resultado geral obtido nas medições do tamanho de campo irradiado (Eixos X e Y) dos aceleradores por meio de cada procedimento (A, B, C) e sua conformidade em relação ao tamanho de campo irradiado, considerando o erro máximo admissível de  $\pm 2$  mm (TECDOC-1151). A análise de conformidade é feita tanto considerando isoladamente o erro médio, quanto também

incorporando a faixa de incerteza de medição do parâmetro. Os casos em que a não-conformidade foi evidenciada somente ao considerar-se a estimativa de incerteza estão destacados com o símbolo  $\sqrt{\phantom{x}}$ .

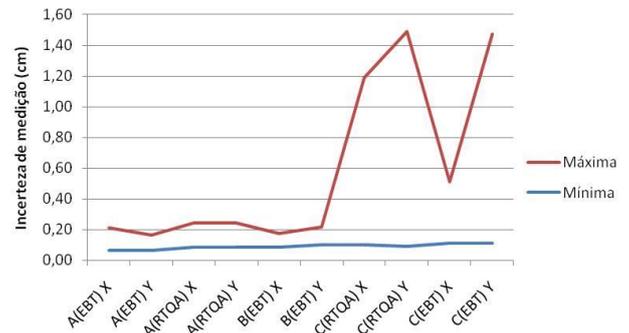


Figura 6 - Valores mínimos e máximos das estimativas de incerteza de medição a 95,45% obtidas na realização dos procedimentos A, B e C utilizados para medição do comprimento do eixo X e Y do campo irradiado pelos aceleradores lineares avaliados.

Tabela 3 – Resultado geral da conformidade dos aceleradores lineares (LINAC)

L I N E A C	A		A		B		C		C	
	EBT QD+		RTQA		EBT QD+		RTQA		EBT QD+	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1	√	√	√	√	√	√	•	•	√	√
2	√	√	•	•	—	—	—	—	—	—
3	•	√	√	•	•	√	√	•	•	√
4	—	—	√	√	—	—	•	√	—	—
5	—	—	√	√	—	—	√	√	—	—
6	—	—	√	√	—	—	•	√	—	—
7	•	√	•	√	•	√	•	•	√	•
8	√	•	√	√	√	√	•	•	•	•
9	√	√	√	√	√	√	√	√	•	•
10	•	•	•	•	√	√	—	—	•	•
11	√	√	√	√	√	√	√	•	√	√
12	•	•	√	•	•	•	•	•	•	•
13	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
NCE	40%	30%	23%	31%	33%	11%	55%	55%	56%	56%
NCI	20%	40%	54%	31%	22%	44%	9%	9%	0%	0%
NCT	60%	70%	77%	62%	56%	55%	64%	64%	56%	56%
NCE XY	50%		38%		33%		73%		67%	
NCI XY	20%		46%		33%		0%		0%	
NCT XY	70%		84%		66%		73%		67%	

**LEGENDA:**

NCE = Não-conformidade causada por influência do erro  
 NCI = Não-conformidade causada por influência da incerteza  
 NCT = Não-conformidade total  
 NCEXY = Não-conformidade causada por influência do erro em pelo menos um dos dois eixos  
 NCIXY = Não-conformidade causada por influência da incerteza em pelo menos um dos dois eixos  
 NCTXY = Não-conformidade total avaliando os dois eixos

√ = Conforme    • = Não-conforme    — = Não avaliado  
 $\sqrt{\phantom{x}}$  = não-conformidade evidenciada somente ao considerar-se a incerteza de medição a 95,45%

Considerando a incerteza de medição na avaliação de conformidade referente ao tamanho de campo irradiado, recomendado pelo Protocolo TECDOC-1151 ( $\pm 0,2$  cm), somente um dos aceleradores lineares avaliados apresentou conformidade em todos os procedimentos.

As propriedades características do filme radiocrômico RTQA impossibilitaram a leitura por meio do densitômetro óptico.

## 5. DISCUSSÃO

**Procedimento A** – A medição do tamanho de campo irradiado foi feita com régua. Este procedimento é convencionalmente realizado nos serviços de radioterapia, porém não faz uso do densitômetro óptico para marcação do campo irradiado real. O campo irradiado forma uma espécie de sombra (penumbra) que não pode ser detectada sem o auxílio de um densitômetro óptico.

**Procedimento B** – A medição do tamanho de campo irradiado foi feita com densitômetro óptico manual e régua. Este procedimento tem por base o uso de densitômetro óptico. Esse instrumento de medição também é recomendado pelo protocolo TECDOC-1151 em uso no Brasil. Dentre os serviços de radioterapia aos quais pertencem os aceleradores lineares avaliados, o único que fez uso convencional do densitômetro óptico para avaliação do tamanho de campo irradiado foi o serviço no qual se encontra o acelerador 10, porém utilizando filme radiográfico.

**Procedimento C** – A medição do tamanho de campo irradiado foi feita utilizando scanner de transmissão. Este procedimento faz uso de densitômetro óptico (scanner), mas não atende à exigência do uso de densitômetro óptico com faixa de trabalho até 4,0, já que este requisito de densidade é necessário ao se utilizar filmes de verificação radiográficos. No entanto, no presente trabalho, a faixa de densidade óptica não ultrapassou 1,0 com o uso de filme de verificação radiocrômico. Desta maneira, a faixa de trabalho do scanner atende às necessidades do presente trabalho ao se utilizarem filmes radiocrômicos RTQA ou EBT QD+.

Os resultados obtidos na Tabela 3 indicam que é necessário considerar a estimativa da incerteza de medição ao realizar a avaliação de conformidade por meio do Procedimento B, pois existe a probabilidade de 33% dos aceleradores lineares apresentarem falsa conformidade ao desconsiderar a incerteza de medição.

A incerteza da repetitividade do método pode ter sido maior no Procedimento C devido o impacto da luz do Scanner no filme EBT. L. PAELINCK et al em 2007 concluiu que é necessário digitalizar 5x o filme irradiado e utilizar as três últimas digitalizações para análise da densidade óptica [4]. Esta publicação utilizou o filme radiocrômico EBT irradiado por acelerador linear com tensão elétrica de 6 MV, aguardou 6 horas para digitalizar a imagem por meio do uso do Scanner Epson, no modo de transmissão com 48 bits bits, separou o RGB e extraiu o canal vermelho para análise.

O presente trabalho apresenta uma limitação, pois os filmes foram varridos uma vez na avaliação dos aceleradores lineares e três vezes na avaliação repetitividade do método.

As distorções entre os resultados apresentados nas medições por meio dos Procedimentos  $C_{RTQA}$  e  $C_{EBT}$  podem estar associadas ao tipo de digitalização realizada pelo Scanner Microtek, pois no Procedimento  $C_{RTQA}$  a digitalização foi realizada no modo de reflexão, já no Procedimento  $C_{EBT}$  foi ao modo de transmissão.

J. KALEF-EZRA et al em 2008 [10], utilizou o filme radiocrômico MD55 irradiado pelo equipamento de teleterapia  $Co^{60}$ , aguardou 4 dias para digitalizar a imagem por meio do uso do Scanner HP Scanjet 4570c, no modo de transmissão com 24 bits em RGB e extraiu o canal vermelho utilizando o software Image J. Depois a imagem foi varrida no modo de reflexão. Segundo o autor, a uniformidade do scanner e estabilidade temporal, a estabilidade em longo prazo das leituras do filme e da faixa dinâmica é superior, utilizando o modo de reflexão.

O presente trabalho utilizou o filme radiocrômico EBT QD+, acelerador linear, scanner Microtek e foram utilizados 48 bits na digitalização. Porém D. F. LEWIS [6], com metodologia parecida com a utilizada na dissertação indicou que o uso da digitalização no modo de transmissão com filmes radiocrômicos EBT apresentou resultados melhores, com pouca diferença do modo de reflexão.

D. F. LEWIS utilizou filme radiocrômico EBT, filme radiográfico EDR2 e material de referência SRM 1008 do NIST para avaliar o nível de ruído produzido entre as medições realizadas pelos Scanners Epson 1680, Epson 4990 e Vidar VXR-16, nos modos de transmissão e de reflexão. Ao se utilizar o filme EBT, as medições foram realizadas apenas no canal vermelho.

D. F. LEWIS também indicou que o nível de ruído da medição com os Scanners Epson 1680, Epson 4990 e Vidar VXR-16 é menor que 1% da faixa de uso em densidade óptica.

O scanner utilizado no presente trabalho foi o Microtek, J. BAKER et al comparou o nível de ruído entre os Scanners Microtek e Epson [7]. Os resultados indicaram que a sensibilidade do Scanner Microtek se compara a do Scanner Epson, porém o nível de ruído é de 5% para o Microtek.

Ou seja, os modos de reflexão ou de transmissão podem indicar diferenças entre os resultados obtidos pelo Procedimento  $C_{RTQA}$  e  $C_{EBT}$ , porém a maior fonte de erro pode estar no ruído gerado pelo Scanner Microtek.

As medições realizadas por meio do Procedimento A podem sofrer grande influência do operador, já que não utilizam a detecção objetiva da densidade óptica. A marcação do campo irradiado depende da percepção visual de seus limites, o que é prejudicado pela existência de região de penumbra. Devido ao fato de o filme radiocrômico RTQA ser opaco, não é possível a sua utilização no procedimento B. Considerando a utilização do densitômetro óptico, tal filme de verificação só poderá ser utilizado se houver a disponibilidade e possibilidade de uso do sistema digital (scanner).

A conformidade em todos os procedimentos realizados para medição do tamanho de campo irradiado, considerando

o erro máximo admissível, para ambos os eixos X e Y, ocorreu somente para o acelerador 13, ou seja, 92% dos aceleradores indicaram não-conformidade em relação ao tamanho de campo irradiado avaliado.

J.A. BENAVENTE indicou diferenças na detecção de dose absorvida em filme EBT QD+ [11], utilizando o scanner Microtek XL 9800 (o mesmo utilizado no presente trabalho) e densitômetro óptico (X-Rite). O autor destacou uma inadequação no uso do densitômetro óptico quando existem não-homogeneidades de campo irradiado, e nestes casos, a possibilidade de identificar anisotropias em duas dimensões tornou a técnica baseada no uso de scanner a mais indicada.

Desta maneira, o Procedimento  $C_{EBT\ QD+}$ , que se caracterizou pelos maiores níveis de incerteza, mas que não resultou em mudança de classificação de conformidade ao incorporar-se o valor da incerteza no critério de avaliação, segundo a Tabela 3, é considerado o procedimento de “eleição”.

## 6. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi realizado um estudo de três procedimentos (A, B e C) para avaliação do tamanho de campo irradiado por aceleradores lineares utilizados em radioterapia, objetivando contribuir para a confiabilidade metrológica destes equipamentos médico-hospitalares e, assim, para a maior segurança e eficiência dos tratamentos radioterápicos.

Ao se considerar a incerteza de medição observada ao utilizar-se o procedimento tradicionalmente utilizado nos serviços de radioterapia para a avaliação do tamanho de campo irradiado (Procedimento A), a significativa alteração de 38% para 84% de não-conformidade, corroboram a necessidade do uso do densitômetro óptico na avaliação.

Dos 13 aceleradores lineares avaliados no presente trabalho, em 9 foi utilizado o densitômetro óptico (Procedimento B), conforme recomendado pelo protocolo publicado pela IAEA [2]. Do total de 9 aceleradores lineares avaliados utilizando o procedimento B, 33% apresentaram conformidade. Tais resultados indicam a necessidade de considerar-se a estimativa da incerteza de medição na avaliação de conformidade utilizando o procedimento com densitômetro óptico (Procedimento B).

Os maiores níveis de incerteza tipo A e os menores níveis de incerteza tipo B foram observados ao realizar-se a avaliação do tamanho de campo irradiado com o scanner de transmissão (Procedimento C). A elevada incerteza tipo A indicou o quanto o campo irradiado estava distorcido, já que o mensurando é variável e foi medido em três posições distintas no mesmo eixo, segundo metodologia sugerida e apresentada no presente trabalho.

O Procedimento  $C_{EBT\ QD+}$ , não sofreu mudança significativa de classificação de conformidade ao incorporar-se o valor da incerteza no critério de avaliação, este procedimento é indicado como o mais apropriado para a avaliação do tamanho de campo irradiado.

Recomenda-se a realização de novos estudos com os Scanners Epson ou Vidar, com pelo menos cinco digitalizações no modo de transmissão segundo o

Procedimento  $C_{EBT}$ , já que o nível de ruído da medição apresentado pelo Scanner Microtek é de 5%.

Ao considerar-se a obtenção de conformidade do tamanho de campo irradiado em todos os procedimentos realizados (A, B e C), 12 dos 13 aceleradores lineares avaliados estavam não-conformes (apenas o acelerador 13 está conforme), o que representa 92% de equipamentos em não-conformidade.

## REFERÊNCIAS

- [1] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. CNEN: NE 3.06 - Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Radioterapia. CNEN, 1990.
- [2] MINISTÉRIO DA SAÚDE; INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. TECDOC-1151: Aspectos físicos da garantia da qualidade em radioterapia. Rio de Janeiro: INCA, 2000. ISBN 85-7318-055-2.
- [3] RDC/ANVISA nº20 de 02 de fevereiro de 2006. Disponível em <[www.sbradioterapia.com.br/pdfs/rdc-20-anvisa.pdf](http://www.sbradioterapia.com.br/pdfs/rdc-20-anvisa.pdf)>. Acesso em 18/03/2011.
- [4] L. PAELINCK, W. DE NEVE, C. DE WAGTER “Precautions and strategies in using a commercial flatbed scanner for radiochromic film dosimetry” Phys. Med. Biol. 52, 231–242 (2007).
- [5] C. FIANDRA, U. RICARDI, R. RAGONA, S. ANGLÉSIO, F. R. GIGLIOLI, E. CALAMIA, F. LUCIO “Clinical use of EBT model GafChromic film in radiotherapy” Med. Phys. 33, 4314–4319 (2006).
- [6] D. F. LEWIS “Measurement Consistency and Single Pixel Noise of Two Epson Flatbed Film Scanners and a Vidar VXR-16”. Disponível em: <[http://online1.ispcorp.com/\\_layouts/Gafchromic/content/products/imrtqa/pdfs/scanconno.pdf](http://online1.ispcorp.com/_layouts/Gafchromic/content/products/imrtqa/pdfs/scanconno.pdf)> Acesso em 21/06/2011.
- [7] J. BAKER, L. REINSTEIN, G. GLUCKMAN “Finding the optimal digitizer for use with gafchromic EBT film,” Med. Phys. 32, 1983–1983 (2005).
- [8] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Guia para a Expressão da Incerteza de Medição - Terceira Edição Brasileira do ISO GUM em língua portuguesa - Rio de Janeiro: ABNT, INMETRO, 2003.
- [9] S. AGUIAR. Integração das Ferramentas da Qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma. INDG, 2006.
- [10] J. KALEF-EZRA, K. KARAVA “Radiochromic film dosimetry: Reflection vs transmission scanning,” Med. Phys. 35, 2308–2311 (2008).
- [11] J. A. BENAVENTE, L. C. MEIRA-BELO, S. R. REYNALDO, T. A. DA SILVA. Caracterização de campos de radiação beta utilizando filmes radiocrômicos. Revista Brasileira de Física Médica. (2011) 71-74.