

# Caracterização de campos de radiação beta utilizando filmes radiocrômicos

## Characterization of beta radiation fields using radiochromic films

Jhonny A. Benavente<sup>1</sup>, Luiz C. Meira-Belo<sup>2</sup>, Sibeles R. Reynaldo<sup>2</sup>, Teógenes A. da Silva<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Pós-graduação em Ciências e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais, CDTN/CNEN - Belo Horizonte (MG), Brasil

<sup>2</sup>Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, CDTN/CNEN - Belo Horizonte (MG), Brasil

### Resumo

O objetivo do presente trabalho é estudar as características da resposta de filmes radiocrômicos, em função da dose absorvida, em campos de radiação beta. Foi estudada a confiabilidade do filme radiocrômico modelo EBT da Gafchromic®. Foram utilizados um scanner de transmissão *Microtek XL 9800*, um densitômetro óptico *X-Rite* modelo 369 e um espectrofotômetro *Shimadzu UV Mini 1240* para estabelecer uma comparação entre as medidas realizadas. Para a calibração dos três sistemas foram irradiadas amostras de filmes radiocrômicos com valores de doses absorvidas de 0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,5 e 5,0 Gy em feixes de radiação beta, utilizando uma fonte de <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y. Para as calibrações foi necessário estabelecer uma correlação entre valores de doses absorvidas e a resposta radiocrômica correspondente. A análise dos resultados indicou que os valores de dose absorvida encontrados com os três métodos avaliados apresentaram diferenças significativas, obtendo-se erros na faixa de 0,6% a 4,4% para doses absorvidas avaliadas com o *scanner Microtek*, de 0,3% a 31,8% para as avaliadas com o densitômetro *X-Rite*, e de 0,2% a 47,3% para as avaliadas com o espectrofotômetro *Shimadzu*. Devido à facilidade de aquisição e de uso, concluiu-se que as determinações dos valores de doses absorvidas obtidas com o densitômetro e com o espectrofotômetro são técnicas adequadas para avaliar irradiações em campos relativamente homogêneos. No caso de campos não homogêneos ou do mapeamento de campos de radiação, a possibilidade de identificar anisotropias em duas dimensões torna a técnica baseada no uso de *scanner* a mais indicada.

**Palavras-chave:** filme radiocrômico, dosimetria de radiação beta.

### Abstrac

The objective of this work was to study the response of radiochromic films for beta radiation fields in terms of absorbed dose. The reliability of the EBT model Gafchromic® radiochromic film was studied. A 9800 XL model Microtek, transmission scanner, a 369 model X-Rite optical densitometer and a Mini 1240 Shimadzu UV spectrophotometer were used for measurement comparisons. Calibration of the three systems was done with irradiated samples of radiochromic films with 0.1; 0.3; 0.5; 0.8; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 3.5; 4.5 e 5.0 Gy in beta radiation field from a <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y source. Calibration was performed by establishing a correlation between the absorbed dose values and the corresponding radiochromic responses. Results showed significant differences in the absorbed dose values obtained with the three methods. Absorbed dose values showed errors from 0.6 to 4.4%, 0.3 to 31.8% and 0.2 to 47.3% for the Microtek scanner, the X-Rite Densitometer and the Shimadzu spectrophotometer, respectively. Due to the easy acquisition and use for absorbed dose measurements, the densitometer and the spectrophotometer showed to be suitable techniques to evaluate radiation dose in relatively homogeneous fields. In the case of inhomogeneous fields or for a two dimension mapping of radiation fields to identify anisotropies, the scanner technique is the most recommended.

**Keywords:** radiochromic film, beta radiation dosimetry.

### Introdução

A implantação e caracterização dos campos padrões de radiação beta em laboratórios de dosimetria é a base metrológica para assegurar a confiabilidade nas calibrações de dosímetros. No Laboratório de Calibração de Dosímetros do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (LCD/CDTN), foram implantados e caracterizados, parcialmente, os campos de radiação beta do sistema padrão secundário BSS2, devido às

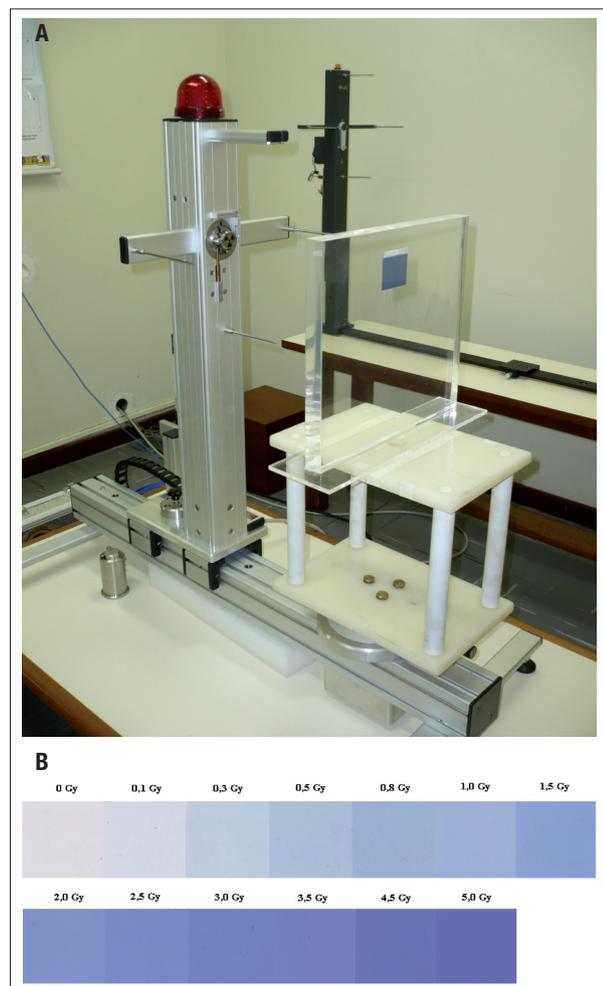
limitações do sistema dosimétrico utilizado (dosímetros termoluminescentes). Essas limitações levam à procura de um dosímetro de radiação com alta resolução espacial, sem necessidade de um procedimento especial de desenvolvimento, o qual possa estimar valores absolutos de dose absorvida, com uma exatidão e precisão aceitável, além, de apresentar a facilidade de manuseio na análise de dados. Algumas dessas características foram conseguidas com a introdução de dosímetros radiocrômicos<sup>1</sup>.

**Correspondência:** Jhonny Antonio Benavente Castillo – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627 – Pampulha - CEP 31270-901 - Belo Horizonte (MG), Brasil – E-mail: jabc@cdtn.br

A completa caracterização dos campos, que inclui estudos da homogeneidade do campo de radiação e a demonstração da coerência metrológica com outros sistemas padrões, requer o uso de outros sistemas dosimétricos, como por exemplo, filmes radiocrômicos.

Este trabalho objetiva estudar as características da resposta de filmes radiocrômicos, em função da dose

absorvida, em campos de radiação beta. Nestes estudos, a mudança na absorvância baseia-se em efeitos radiocrômicos, que envolvem a coloração direta de materiais através da absorção de energia da radiação incidente, sem a necessidade de qualquer tratamento químico, óptico térmico ou amplificação<sup>1</sup>. A metodologia de leitura e avaliação dos filmes também será motivo de investigação.



**Figura 1.** (a) Amostra de filme radiocrômico EBT sob condições de irradiação com o sistema padrão secundário beta do CDTN. (b) Representação dos filmes radiocrômicos irradiados com valores de doses absorvidas de 0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,5 e 5,0 Gy em feixes de radiação beta em  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ,



**Figura 2.** Scanner Microtek XL 9800.

## Material e Métodos

No presente trabalho foi estudada as características da resposta do sistema dosimétrico filme radiocrômico, para estabelecer a coerência metrológica do sistema padrão secundário beta 2, BSS2, do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, CDTN. Utilizou-se o filme radiocrômico modelo EBT, lote número 37137-21 da Gafchromic®, fabricado pela *International Speciality Products, New Jersey-USA*.

O filme Gafchromic EBT foi cortado em 11 pedaços de  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  e irradiados no padrão secundário beta, pertencente ao Laboratório de Calibrações e Dosímetros, LCD, do CDTN, em feixes de radiação beta  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ . Cada amostra foi posicionada individualmente, perpendicularmente ao feixe horizontal e no centro do campo, em frente ao objeto simulador de tronco, ICRU<sup>2</sup>, de PMMA, polimetilmetacrilato, como é apresentado na Figura 1 (a). As amostras foram irradiadas separadamente com valores de doses absorvidas de 0,1; 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,5 e 5,0 Gy. A irradiação alterou a coloração do filme tornando-se progressivamente mais escuro com o aumento da dose, conforme apresenta a imagem das amostras irradiadas (Figura 1 b). A exposição à luz foi minimizada armazenando os filmes em envelopes opacos antes e após a irradiação. Adicionalmente, eles foram armazenados em uma sala com temperatura controlada de  $20^\circ\text{C}$ , possibilitando a estabilidade química do dosímetro.

Após a irradiação, foram efetuadas as digitalizações de todo o conjunto junto a uma amostra não irradiada. Para este estudo utilizou-se, como instrumento de verificação, o scanner *Microtek 9800 XL*, apresentado na Figura 2, com uma resolução de varredura de 72 dpi, no modo RGB (*Red-Green-Blue*), e uma resolução do *pixel* de 16 bits por canal. Os arquivos gerados foram salvos na extensão TIFF (*tagged image file format*). A análise das imagens foi realizada com o programa *Image J*, e apenas os valores de transmissão do canal vermelho foram analisados, pois o espectro de absorção tem uma ótima resposta entre os comprimentos de onda de 600 a  $700 \text{ nm}^3$ . Os valores de transmissão foram obtidos em cinco regiões de interesse para todas as amostras de modo a avaliar a variação da resposta do sistema *scanner*- filme radiocrômico<sup>4</sup>.

O segundo sistema dosimétrico utilizado foi o densitômetro de transmissão *X-Rite 369*, apresentado na Figura 3. Os valores das densidades ópticas também foram obtidos

nas mesmas cinco regiões de interesse, feitas na análise do *software Image J*.

O terceiro sistema dosimétrico utilizado foi o espectrofotômetro *Shimadzu UV Mini 1240*, apresentado na Figura 4. Nesta análise, os valores das densidades ópticas também foram obtidos nas cinco regiões de interesse, feitas nas análises dos dois métodos anteriores.

Para as calibrações foi necessário estabelecer uma correlação entre valores de doses absorvidas e a resposta radiocrômica correspondente.

## Resultados

A Figura 5 apresenta os valores médios das componentes de cor RGB e da componente de cor vermelha em função dos valores da dose absorvida, das imagens digitalizadas com o *scanner Microtek XL 9800* e analisadas com o *software Image J*.

Na Figura 5, percebe-se que os valores de densidade óptica líquida para a componente de cor vermelha são maiores em relação aos valores médios de cor RGB, isto se justifica porque o filme EBT tem o comprimento de absorção máxima a 633 nm<sup>3</sup>.

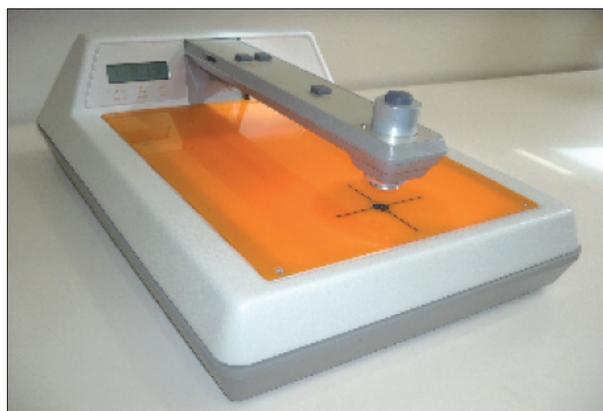


Figura 3. Densitômetro X-Rite 369.



Figura 4. Espectrofotômetro Shimadzu UV Mini 1240.

A Figura 6 representa as curvas dos processos de calibração para os sistemas dosimétricos do *scanner*, densitômetro e espectrofotômetro com o filme radiocrômico Gafchromic EBT. A curva de calibração do *scanner* apresenta valores de densidade óptica líquida, obtidos dos valores da componente vermelha das imagens digitalizadas e analisadas o *software Image J*. No caso da curva de calibração para o densitômetro, os dados das densidades ópticas líquidas foram obtidos subtraindo a cada valor de densidade óptica das amostras irradiadas com a fonte de <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y, o valor da densidade óptica do filme não irradiado. Para a curva de calibração do espectrofotômetro, os dados das densidades ópticas líquidas foram obtidos subtraindo a cada valor máximo de absorvância, aproximadamente na faixa de 633 nm a 634 nm de comprimento de onda, das amostras irradiadas com a fonte de <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y, o valor máximo da absorvância do filme não irradiado.

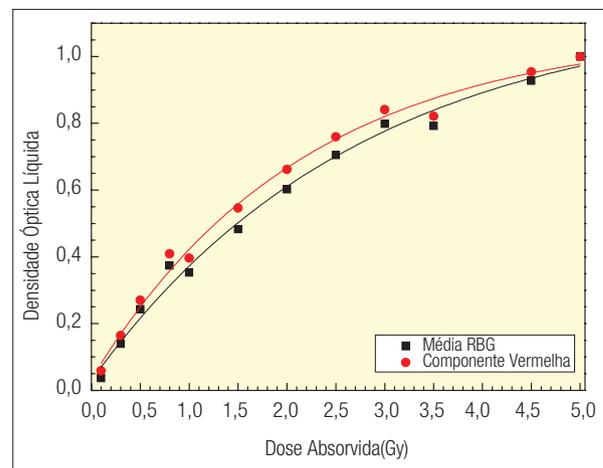


Figura 5. Densidade óptica líquida dos valores médios das componentes de cor RGB e da componente de cor vermelha, obtidas com o *software Image J*.

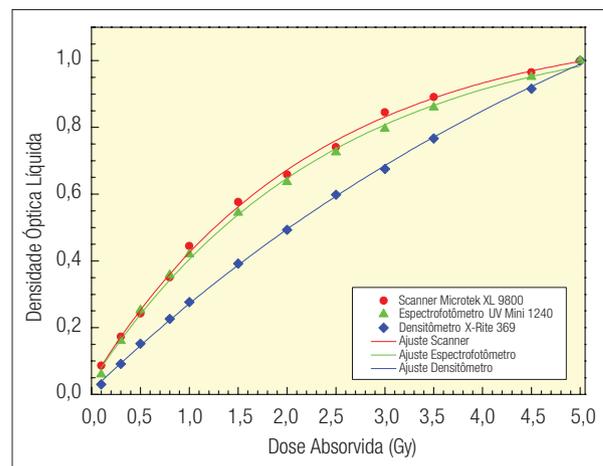


Figura 6. Curvas de calibração do *scanner Microtek XL 9800*, do densitômetro X-Rite 369 e do espectrofotômetro Shimadzu UV Mini 1240 com o filme radiocrômico Gafchromic EBT em <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y.

A curva de calibração utilizada no ajuste dos valores de densidade óptica líquida para os três sistemas, em termos de dose absorvida, é apresentada na seguinte equação:

$$D = a \times \ln\left(\frac{b}{c - DO}\right) \quad (1)$$

onde,  $D$  representa os valores das doses absorvidas,  $DO$ , os valores das densidades ópticas líquidas, e as constantes  $a$ ,  $b$  e  $c$ , os valores numéricos dos ajustes feitos para o *scanner*, densitômetro e para o espectrofotômetro, como apresentados na Tabela 1.

A Tabela 2 indica a análise dos resultados com os três métodos, apresentando os valores estimados das variações em termos de dose absorvida, obtidas com a equação (1).

## Discussão e Conclusões

A análise dos resultados indicou que os valores de dose absorvida encontrados com os três métodos avaliados apresentaram diferenças significativas, obtendo-se variações na faixa de 0,6% a 6,6% para doses absorvidas avaliadas com o *scanner Microtek*, de 0,3% a 31,8% para as avaliadas com o densitômetro *X-Rite* e de 0,2% a 47,3% para as avaliadas com o espectrofotômetro *Shimadzu UV*

**Tabela 1.** Valores das constantes  $a$ ,  $b$  e  $c$ , correspondentes aos ajustes do *scanner Microtek XL 9800*, do densitômetro *X-Rite 369* e do espectrofotômetro *Shimadzu UV Mini 1240*.

Constantes	Scanner	Densitômetro	Espectrofotômetro
$a$	2,24515	6,47227	2,4034
$b$	1,07619	1,8181	1,08201
$c$	1,11403	1,82944	1,11836

**Tabela 2.** Variações estimadas das doses absorvidas, obtidas com o *scanner Microtek XL 9800*, o densitômetro *X-Rite 369* e com o espectrofotômetro *Shimadzu UV Mini 1240*.

Dose Absorvida (Gy)	Scanner	Densitômetro	Espectrofotômetro
	Ajuste (%)		
0,1	4,4	31,8	47,3
0,3	0,6	3,1	2,5
0,5	5,1	4,3	7,3
0,8	3,7	1,8	5,8
1,0	6,6	2,3	5,2
1,5	4,0	1,3	1,6
2,0	3,4	0,3	3,0
2,5	4,9	0,9	2,7
3,0	3,9	1,9	3,0
3,5	1,0	0,7	1,8
4,5	1,2	1,1	0,2
5,0	0,8	1,6	6,4

*Mini 1240*. Na Tabela 2 pode-se observar que as variações apresentam os seus valores máximos de 4,4%, 31,8% e 47,3% para doses absorvidas de 0,1 Gy; embora para doses absorvidas acima de 0,3 Gy, encontram-se na faixa de 0,6% a 6,6% para o *scanner*, de 0,3% a 4,3% para o densitômetro e de 0,2% a 7,3% para o espectrofotômetro.

Os resultados mostram que a utilização com os três sistemas é possível na dosimetria beta. Com base nas comparações entre os três sistemas utilizados para a dosimetria do filme radiocrômico *Gafchromic EBT*, no intervalo de dose absorvida de 0 a 5,0 Gy, obtem-se com o densitômetro *X-Rite 369* e com o espectrofotômetro *Shimadzu UV Mini 1240* maior coerência em apresentar os resultados das variações, em relação às obtidas com o *scanner Microtek XL 9800*.

É importante ressaltar que neste trabalho não realizamos os testes de resposta espacial, recomendados antes de fazer as digitalizações com o *scanner*, além disso, cada sistema dosimétrico deve determinar a melhor função para a curva de calibração de modo a apresentar o melhor ajuste.

Finalmente devido à facilidade de aquisição e de uso, se concluiu que a determinação dos valores de doses absorvidas obtidas com o densitômetro e com o espectrofotômetro são técnicas adequadas para irradiações em campos relativamente homogêneos. No caso de campos não homogêneos ou do mapeamento de campos de radiação, a possibilidade de identificar anisotropias em duas dimensões torna a técnica baseada no uso de *scanner* a mais indicada.

## Agradecimentos

Agradecemos à CNEN pela bolsa de mestrado de Jhonny Antonio Benavente Castillo. Ao projeto "Implantação do Sistema Metrológico Secundário e Primário de Campos de Radiação Beta de Minas Gerais", apoiado pela FAPEMIG por meio do Edital Tecnologia Industrial Básica 2009-2011.

## Referências

1. Niromand-Rad A, Blackwell CR, Coursey BM, Gall KP, McLaughlin WL, Meigooni AS et al. Radiochromic Film Dosimetry: Recommendations of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 55. *Med. Phys.* 1998;25:2093-2115.
2. International Commission on Radiation Units and Measurements. *Dosimetry of External Beta Rays for Radiation Protection (ICRU report 56)*. Bethesda;1997.
3. Soares CG. New developments in radiochromic film dosimetry. *Gaithersburg, MD. Radiat. Prot. Dosim.* 2006;120:100-6.
4. Slobodan D, Seuntjens J, Hegyi G, Podgorsak EB, Soares CG, Kirov AS et al. Dosimetric properties of improved *Gafchromic* films for seven different digitizers. *Med. Phys.* 2004;31:2392-2401.