

# Estudo da detectores de traços para detecção de partículas para utilização em BNCT através de experimento e simulação

R.H. Takizawa, J.C. Hadler, I. Alencar

Instituto de Física “Gleb Wataghin” – UNICAMP - Campinas, Brazil  
SAE/PIBIC

Palavras-Chave: Ataque químico – CR-39 – Eficiência – Partículas alfa – TRIM – SRIM

## 1. Introdução

O BNCT (*Boron Neutron Capture Therapy*) é uma modalidade de radioterapia que trata diversos tipos de tumores, baseada no acúmulo seletivo de moléculas de  $^{10}\text{B}$  em tumores e irradiação com um feixe de nêutrons. A distribuição das moléculas de  $^{10}\text{B}$  pode ser estudada com o auxílio de detectores de traços CR-39 [1]. Neste trabalho, estudou-se, por experimento e simulação, a resposta do detector ao feixe de nêutrons, e também à reação  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ . Dessa maneira, estipulou-se doses entregues ao CR-39 e entregues a tecidos humanos em tratamentos de radioterapia.

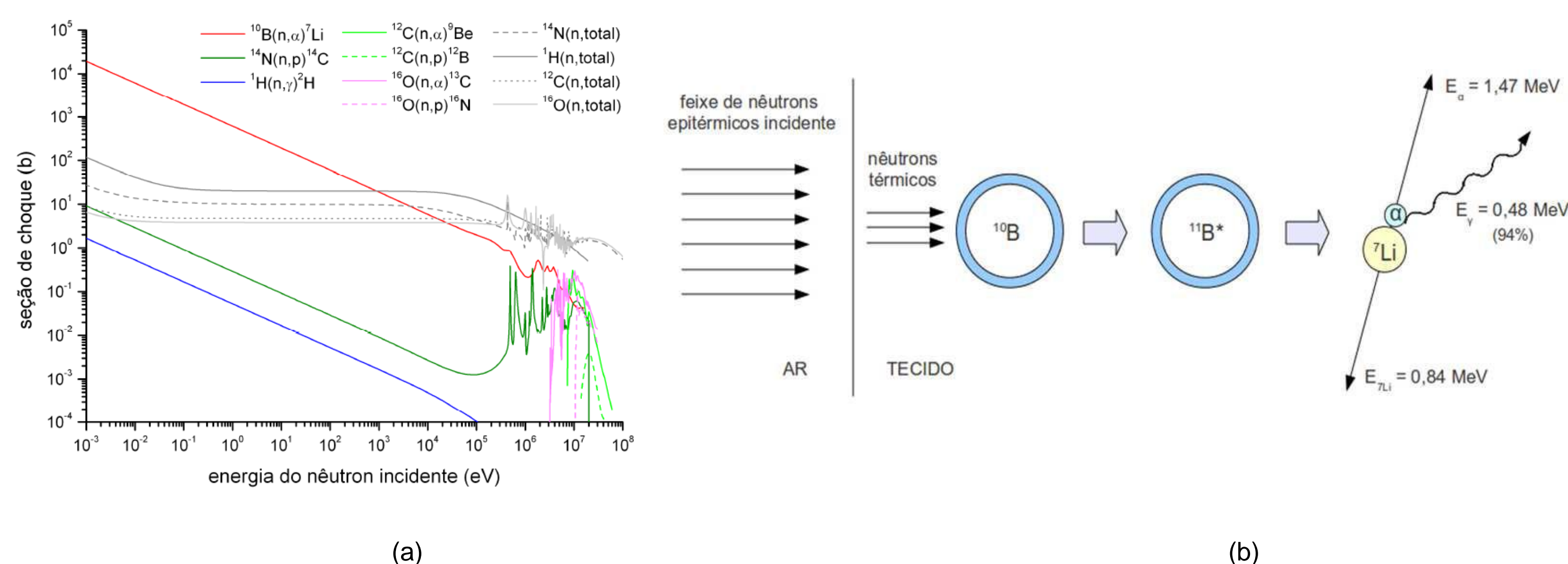


Figura 1 – Secções de choque para dada energia de nêutrons, para as reações de interesse em (a) e a representação da reação principal do BNCT em (b), ambas retiradas de [2].

## 2. Metodologia

### 2.1. Experimento

- **Exposição:** Expôs-se detectores ao acelerador linear Varian 2100C, HC Unicamp.
- **Ataque químico:** Solução de NaOH, 6,25N, à 70°C, por 100 minutos;
- **Contagem da densidade de traços:** Microscópio Zeiss Axioplan 2, aumento nominal 1000x; Também realizada para a calibração do filme de boro, amostras de [2];

Detector	Filme de Boro	Dose nominal (Gy)	Exposição
3	Sem filme	10	Colimador multileaf fechado
122	Sem filme	10	Colimador multileaf fechado + Placa de acrílico
149	Boro 3	9	Colimador multileaf fechado
152	B2	27	Colimador multileaf fechado
233	B3	27	Colimador multileaf fechado
58	Boro 5	36	Colimador multileaf fechado
244	Sem filme	64	Campo aberto

Tabela 1 – Especificações das exposições de cada detector.

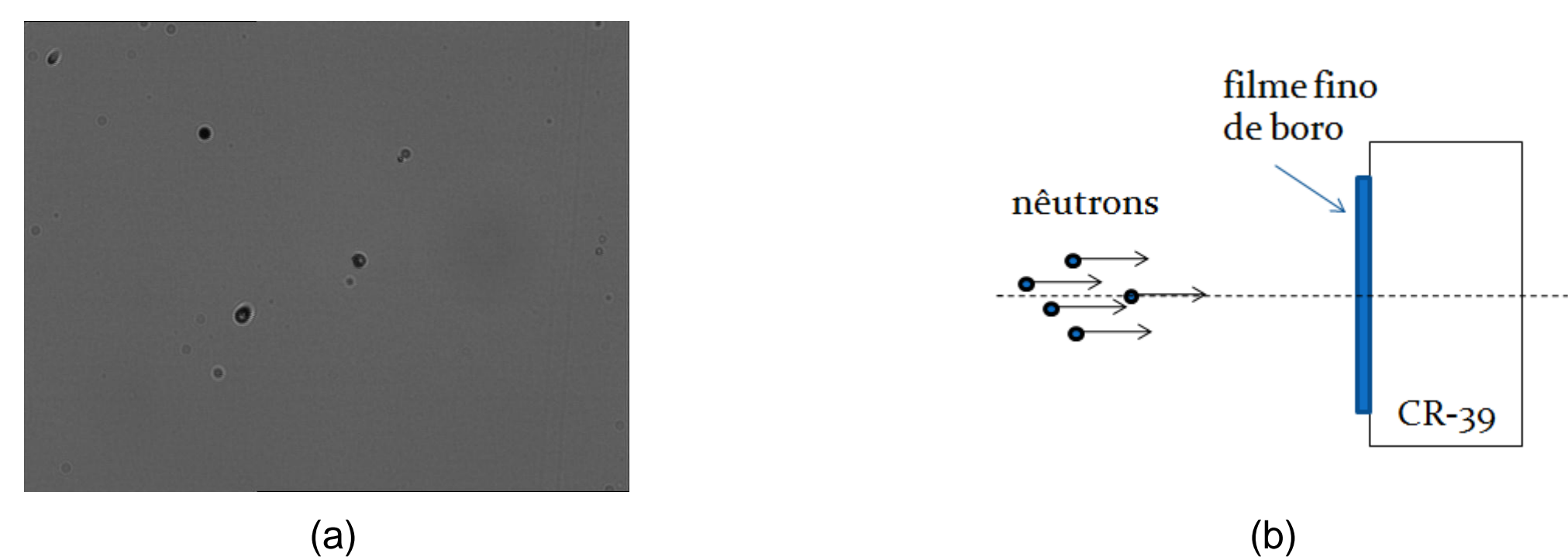


Figura 2 – Em (a), uma imagem de um detector CR-39, num aumento de 1000x. As áreas mais escuras são os traços revelados pelo ataque químico. Em (b), tem-se um representação das interações de interesse. Figura retirada de [2].

### 2.2. Simulação

- **Alvos:** CR-39, água e músculo estriado, com dimensões de 10x o alcance das partículas;
- **Partículas:** Alfa, lítio e próton;
- **Energias:** Alfa - 1,47 MeV; Próton – 580 keV e 2 MeV; Lítio – 840 keV;
- **Posição:** Reações com posições iniciais aleatórias, com direções aleatórias;
- **Região de interesse:** Centro do cubo com as dimensões consideradas;

## 3. Resultados e discussões

**3.1. Simulação:** TRIM, utilizando arquivo de entrada gerado com dados de ângulos, energia, massa e posição das partículas geradas nas reações com os nêutrons.

	Alvo	Densidade ( $10^3/\text{cm}^2$ )	Energia ( $10^{-12}$ J)	Dose ( $10^{-5}$ Gy)
Próton (580 keV)	Água	3,9	7,4	1,2
	CR-39	2,1	7,4	9,0
	M.E.	4,0	7,4	1,1
Próton (2 MeV)	Água	25,6	25,3	4,0
	CR-39	19,4	25,5	3,1
	M.E.	21,8	25,7	3,9
Alfa	Água	2,2	18,8	3
	CR-39	1,5	18,7	2,3
	M.E.	2,1	18,9	2,9
Lítio	Água	1,9	10,6	1,7
	CR-39	0,9	10,5	1,3
	M.E.	2,0	10,6	1,6

Tabela 2 – Dados obtidos através da simulação.

• **Equações:** Obtidas com os dados da Tabela 2.

$$p_{D_{CR39}} = \frac{1}{k} p_{\rho_{CR39}}$$

$${}^{\alpha, Li} \rho_{CR39} = k_1 {}^{\alpha} D_{CR39} + k_2 {}^{Li} D_{CR39} = \eta_{\alpha} {}^{\alpha, Li} \rho_{CR39} + \eta_{Li} {}^{\alpha, Li} \rho_{CR39}$$

$${}^{2MeV} D_{M.E.} = \omega_{2MeV} \frac{1}{k_{2MeV}} p_{\rho_{CR39}}$$

$${}^{\alpha, Li} D_{M.E.} = {}^{\alpha, Li} \rho_{CR39} (\omega_1 \frac{1}{k_1} \eta_{\alpha} + \omega_2 \frac{1}{k_2} \eta_{Li})$$

$$D_{M.E.}^{2MeV} = (2 * 10^{-9}) \rho_{CR39}^p$$

$$D_{M.E.}^{\alpha, Li} = (1,9 * 10^{-8}) \rho_{CR39}^{\alpha, Li}$$

**3.2. Experimento:** Dados obtidos com as contagens de traços nos detectores com as equações anteriores:

Detector	Traços	Densidade ( $10^2/\text{cm}^2$ )
3	99	$16 \pm 2$
122	107	$17 \pm 2$
149	99	$16 \pm 2$
149 (Costa)	90	$15 \pm 1$
58	132	$21 \pm 2$
58 (Costa)	100	$16 \pm 2$
176 (BG)	46	$6 \pm 1$
244	140	$89 \pm 6$
268	1253	$2090 \pm 590$
268 (Costa)	696	$830 \pm 31$

Tabela 3 – Resultado das contagens de traços nos detectores expostos.

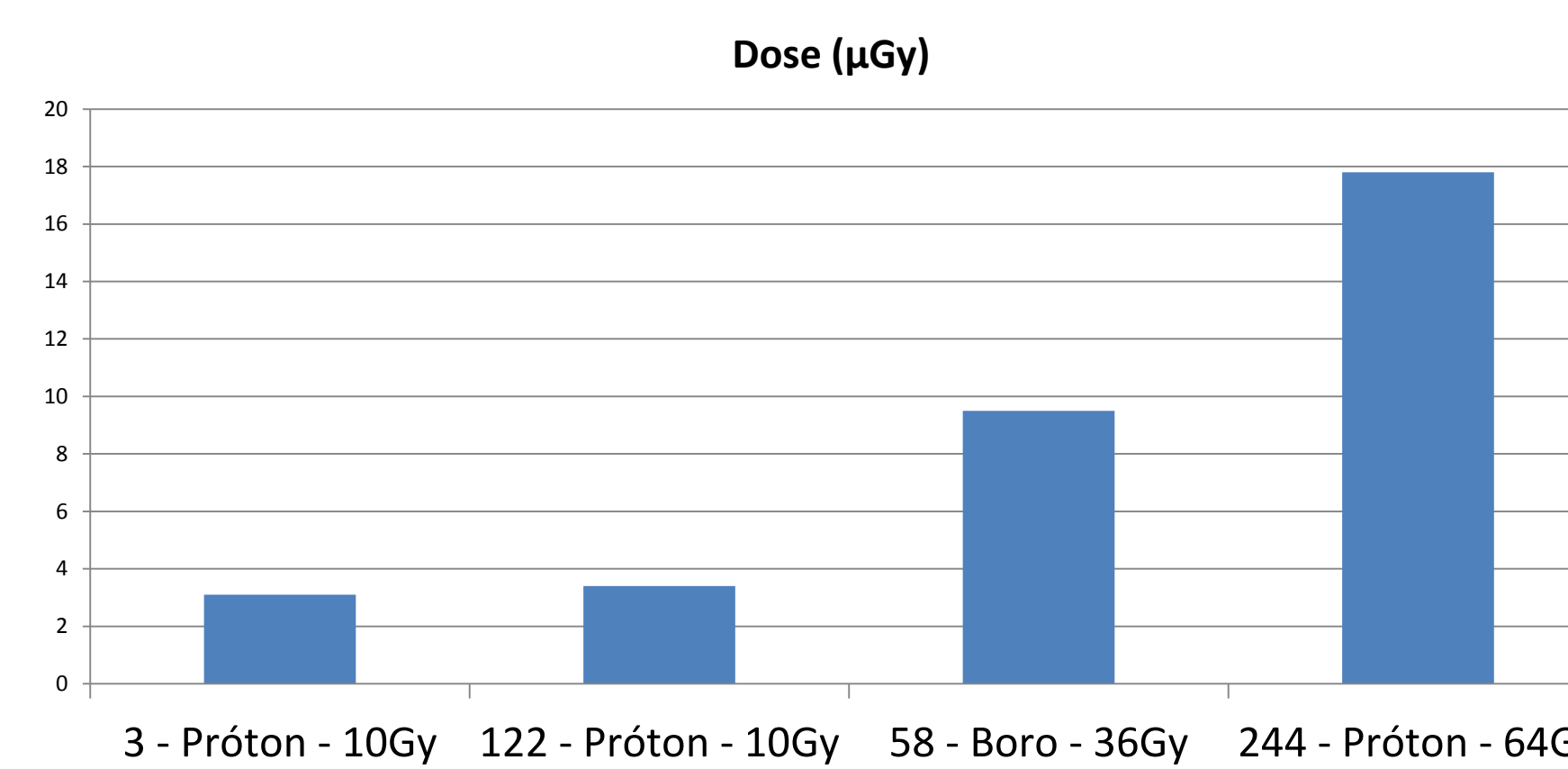


Figura 3 – Gráfico com as doses, em  $\mu\text{Gy}$ , obtidas em experimento através das equações mostradas.

## 4. Conclusões

- **Simulação:** Algoritmo de saída mostrou-se satisfatório para a simulação, que possibilitou determinar a dose entregue devido aos nêutrons, correlacionando-as aos materiais alvos.
- **Experimento:** Estimou-se as doses num tratamento de radioterapia com os dados da simulação e experimento. Concluiu-se que as doses são baixas, não oferecendo risco adicional. Além disso, nêutrons rápidos são predominantes.

## 5. Referências Bibliográficas

- [1] Mikado, S., et al. (2009). “Application of neutron capture autoradiography to Boron Delivery seeking techniques for selective accumulation of boron compounds to tumor with intra-arterial administration of boron entrapped water-in-oil-in-water emulsion”. *Nucl. Instr. Meth. A*, **605**, 171-174.
- [2] Smilgys, B., (2012). “Confecção e calibração de filmes finos de boro para a medida da taxa de reação  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$  na terapia por captura de nêutrons por boro”, *Dissertação de Mestrado, IFGW, Unicamp*.