

Efeito de colimações de cerrobend em feixes de elétrons

Cerrobend collimation effect on electron beams

Laura Furnari, Lucas D. Albino, Victor A. B. Ribeiro e Gabriela R. Santos

Instituto de Radiologia (InRad) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP) – São Paulo (SP), Brasil.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo discutir o efeito das colimações de cerrobend em feixes de elétrons na prática clínica. Ao se usar colimações de cerrobend, interfere-se na forma da curva de porcentagem de dose profunda (PDP) e na dose absoluta que é liberada no paciente. Foram analisados os fatores que influenciam tais parâmetros e avaliado em quais casos é necessário fazer uma correção devido à presença da colimação. Confirmou-se que, quando a menor dimensão da colimação é inferior ao raio necessário para que haja equilíbrio de espalhamento lateral, a colimação altera a PDP e, portanto, tal alteração deve ser levada em conta no planejamento. Para uma colimação muito utilizada em tratamentos de cabeça e pescoço, encontrou-se que não é necessário aplicar nenhum fator de correção.

Palavras-chave: radioterapia, elétrons, colimação.

Abstract

The aim of this work was to discuss about the cerrobend collimation effect on clinical electron beams. When a cerrobend collimation is used, both the percentage depth dose (PDD) and the absolute dose that is delivered to the patient changes. It was analyzed how those parameters change and it was evaluated in which cases a correction factor should be applied due to this collimation. It was founded that, when the smallest dimension of the collimation is smaller than the minimum radius to lateral scatter equilibrium, the collimation will change the PDD in such a way that it should take into account in the treatment planning. For one specific collimation usually applied in head and neck treatments, it was found that no correction factor is necessary.

Keywords: radiation therapy, electrons, collimation.

Introdução

Este trabalho teve como objetivo discutir o efeito das colimações em campos clínicos de elétrons. Ao se fazer um cálculo de dose monitor para um campo com feixe de elétrons, é necessário levar em conta o tamanho da colimação empregada por meio do fator de equivalência de campo, uma vez que o fator *output* é dependente do tamanho de campo.

Existem estudos antigos que afirmam não ser possível estabelecer essa equivalência entre campos irregulares de elétrons. Porém, estudos posteriores de Khan e Higgins^{1,2} apontaram que é possível encontrar um campo circular ou quadrado equivalente ao campo colimado. O termo campo equivalente significa que, para uma dada fluência incidente e um determinado perfil de feixe, existe um campo equivalente (quadrado ou circular) com a mesma distribuição de dose profunda no raio central.

A porcentagem de dose profunda (PDP) de um campo de elétrons tem como contribuição importante o

espalhamento dentro do objeto simulador. Para cada energia, a partir de certa distância ao centro do campo, essa contribuição é desprezível.

O raio mínimo, r_m , do campo para o qual ocorre a condição do equilíbrio de espalhamento lateral (EEL) depende, aproximadamente, da energia mais provável dos elétrons na superfície do objeto simulador, $E_{p,0}$ que, por sua vez, depende do alcance prático, R_p . É calculado empiricamente por:

$$r_m \cong 0,88 \cdot \sqrt{E_{p,0}} \quad (1)$$

em que:

$$E_{p,0} = 0,22 \text{ (MeV)} + 1,98 \left(\frac{\text{MeV}}{\text{cm}} \right) \cdot R_p + 0,0025 \left(\frac{\text{MeV}}{\text{cm}^2} \right) \cdot R_p^2 \quad (2)$$

No caso das PDPs serem semelhantes, não se observará variação no comportamento de R_p e, portanto, no de r_m . Isso ocorre para campos grandes, nos quais o EEL já foi alcançado. O tamanho do campo para o qual ocorre essa semelhança depende da energia¹. A Figura 1 mostra

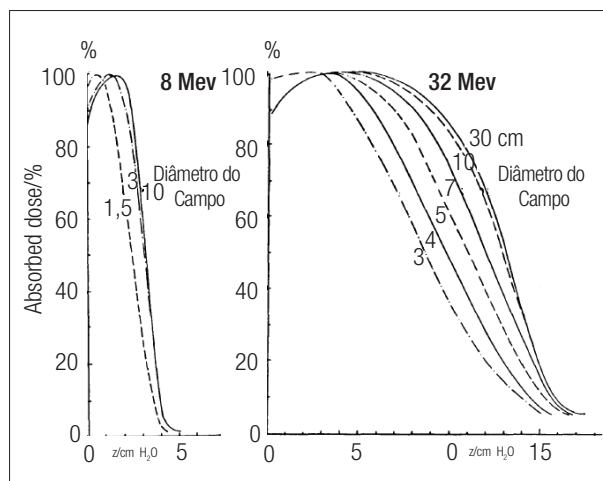


Figura 1. Efeito do aumento do campo na porcentagem de dose profunda para feixes de elétrons de 8 MeV e 32 MeV².

que, para a energia de 8 MeV, para campos com diâmetros maiores que 3 cm, e para a energia de 32 MeV, para diâmetros superiores a 10 cm, a curva de PDP permanece praticamente inalterada.

Assim, a correção de campo equivalente para elétrons só precisa ser estabelecida para campos pequenos nos quais falta o EEL, uma vez que, atingida a dimensão na qual o EEL acontece em todas as profundidades, a PDP independe do tamanho de campo.

Para campos quadrados, o lado mínimo s_m da colimação (que é o lado mínimo da área não colimada) para ocorrer o EEL é dada pela expressão:

$$s_m \cong 1,58 \cdot \sqrt{E_{p,0}} \quad (3)$$

No caso de campos retangulares, se as duas dimensões forem maiores que s_m , o campo é suficientemente grande para não precisar ser corrigido, podendo ser desconsiderado o efeito da colimação na distribuição de dose.

Material e Métodos

As avaliações do efeito das colimações foram realizadas com a utilização de filmes tipo Kodak X-Omat V, envelopados um a um, e com um objeto simulador formado de placas de água sólida RW3, equivalentes à água. As irradiações foram feitas num acelerador linear da Varian, modelo 2100C, utilizando feixes de elétrons com energias de 6, 9, 12 e 15 MeV, com cones de 6x6, 10x10, 15x15 e 25x25 cm². Foram usados seis blocos com diferentes formatos (Figura 2), além dos tamanhos padrões de cada cone.

A Tabela 1 compara o menor lado da colimação de cada bloco com o tamanho do lado mínimo exigido para alcançar o EEL.

Os valores de s_m são praticamente os mesmos para todos os cones e dependem unicamente da energia,

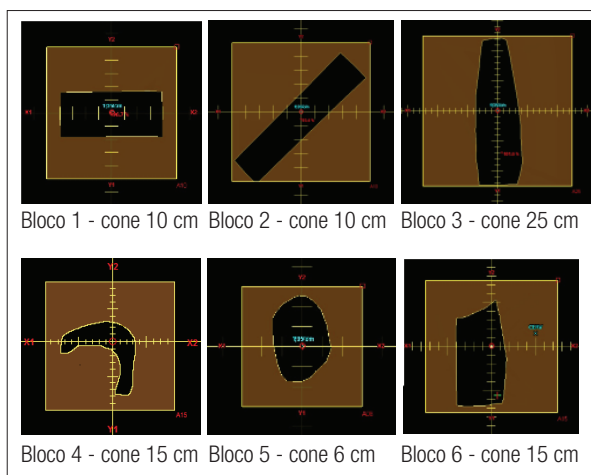


Figura 2. Formato dos blocos de cerrobend usados na avaliação do efeito de colimações em feixe de elétrons.

Tabela 1. Comparação do menor lado da colimação com s_m .

	6 MeV	9 MeV	12 MeV	15 MeV
Cone 10 cm – bloco 1	= s_m	< s_m	< s_m	< s_m
Cone 10 cm – bloco 2	< s_m	< s_m	< s_m	< s_m
Cone 25 cm – bloco 3	> s_m	> s_m	> s_m	> s_m
Cone 15 cm – bloco 4	< s_m	< s_m	< s_m	< s_m
Cone 6 cm – bloco 5	< s_m	< s_m	< s_m	< s_m
Cone 15 cm – bloco 6	> s_m	> s_m	> s_m	< s_m

conforme a equação (1), são: 3,7 cm para 6 MeV, 4,5 cm para 9 MeV, 5,4 cm para 12 MeV e 6,1 cm para 15 MeV.

O efeito da colimação no fator *output* foi avaliado por meio da medida da densidade óptica (DO) na parte central de cada região irradiada, e da razão entre esse valor de DO e aquele obtido com o campo padrão de cada cone.

Essas medidas foram obtidas colocando-se o filme na profundidade de referência (z_{ref}) de cada energia, cujos valores estão indicados na Tabela 2. A determinação da dose nos filmes foi feita construindo-se, separadamente, uma curva de calibração de DO em função da dose absorvida.

Foram dadas 40 UM, e a dose recebida pelos filmes foi calculada e comparada com a dose calculada pelo sistema de planejamento de tratamento (Eclipse, versão 10.0.28).

As curvas de PDP foram obtidas por meio de um sistema de varredura automático tridimensional, Wellhofer Blue Phantom, e câmaras de ionização Scanditron cc13 com um volume de 0,13 cm³.

Tabela 2. Profundidades em que foram feitas as medidas de fator *output*.

	6 MeV	9 MeV	12 MeV	15 MeV
Z_{ref}	1,2 cm	1,9 cm	2,8 cm	3,7 cm

Resultados

Medidas com filmes

A Tabela 3 apresenta as doses, medidas com filmes e calculadas no sistema de planejamento, nas mesmas condições, e os desvios relativos entre elas.

A partir dos valores de dose dos filmes obtiveram-se as razões entre os valores de dose obtidos com a presença do bloco e a dose com os respectivos *inserts* padrões (Tabela 4).

Comparação de curvas de porcentagem de dose profunda calculadas e medidas

A Figura 3 apresenta as curvas de PDP para as energias 6 e 15 MeV, com e sem o bloco 2 (cone 10x10 cm²), obtidas a partir do cálculo com o sistema de planejamento Eclipse. A Figura 4 apresenta o mesmo tipo de avaliação para o bloco 5 (cone 6x6 cm²).

Tabela 3. Doses (cGy) para diversos blocos, energias e cones.

		6 MeV	Desvio (%)	15 MeV	Desvio (%)	
Cone 10 cm	Padrão	Filme	39,02	2,00	39,02	1,74
		Eclipse	39,80		39,70	
	Bloco 2	Filme	37,25	-0,67	31,34	8,17
		Eclipse	37,00		33,90	
Cone 6 cm	Padrão	Filme	39,02	-2,49	35,95	4,87
		Eclipse	38,05		37,70	
	Bloco 5	Filme	35,52	-3,15	27,36	17,2
		Eclipse	34,40		32,07	

Tabela 4. Razão R entre as doses medidas com e sem os blocos (%).

		6 MeV	15 MeV			
Cone 6 cm	Bloco 5	96,0	85,0			
Cone 10 cm	Bloco 1	94,0	95,0	91,0		
	Bloco 2	95,0	89,0	80,0		
Cone 15 cm	Bloco 4	98,0	95,0	92,0	91,0	
	Bloco 6	100,0	100,0	100,0	96,0	
Cone 25 cm	Bloco 3	99,0	100,0	100,0	100,0	
			6 MeV	9 MeV	12 MeV	15 MeV
			99,0	100,0	100,0	100,0

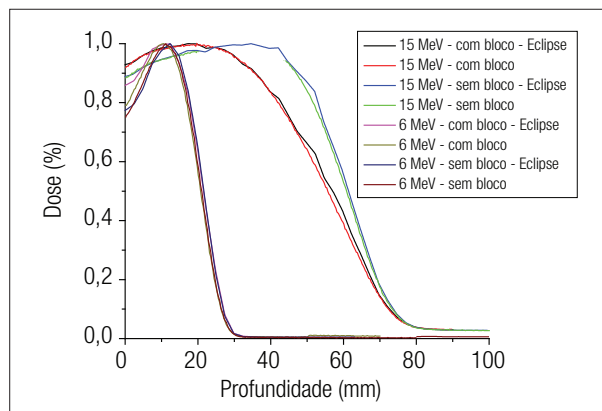


Figura 3. Porcentagem de dose profunda obtida com o sistema de planejamento e medida com câmara de ionização para o bloco 2.

Comparação de curvas de porcentagem de dose profunda com e sem blocos obtidas com o sistema Wellhofer

As próximas figuras são as representações das curvas de PDP para diversas energias, blocos e cones. Tais figuras salientam o efeito da presença dos blocos, mostrando que a importância desse efeito depende do formato e do tamanho da colimação, assim como da energia em que ela é usada. As Figuras de 5 a 8 mostram o efeito dos blocos 1, 2, 3 e 5, respectivamente.

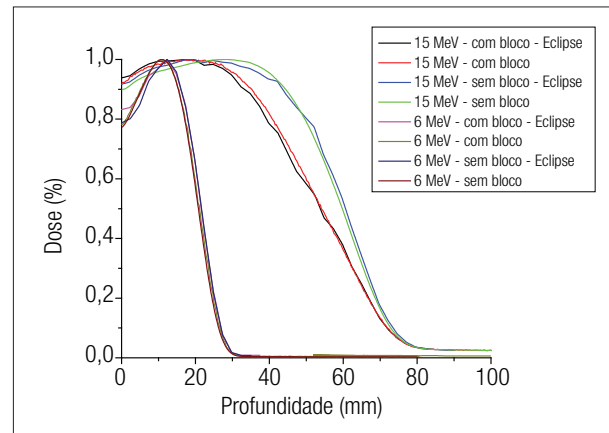


Figura 4. Porcentagem de dose profunda obtida com o sistema de planejamento e medida com câmara de ionização para o bloco 5.

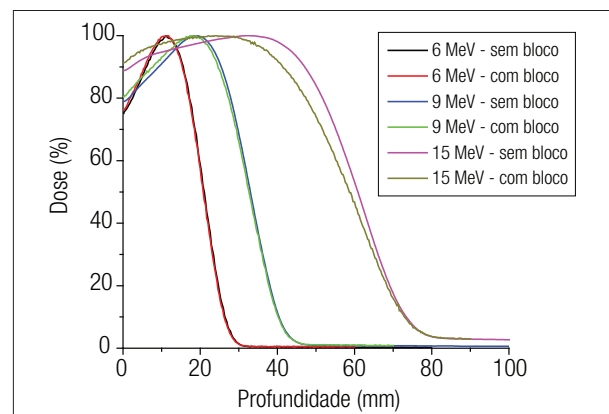


Figura 5. Porcentagem de dose profunda com bloco 1 e sem bloco – Wellhofer.

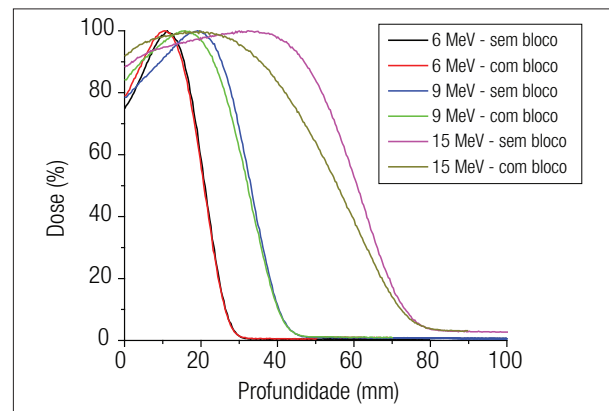


Figura 6. Porcentagem de dose profunda com bloco 2 e sem bloco – Wellhofer.

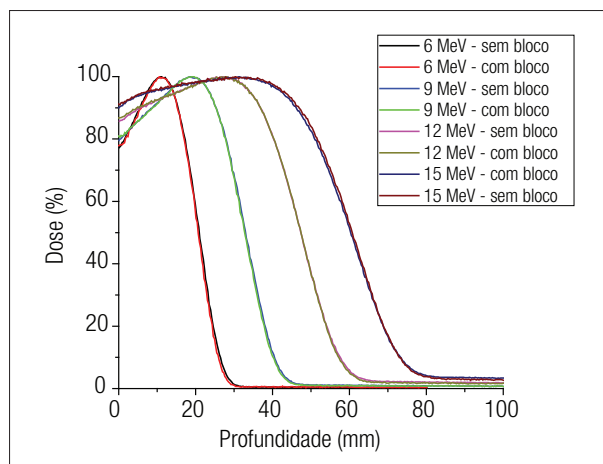


Figura 7. Porcentagem de dose profunda com bloco 3 e sem bloco – Wellhofer.

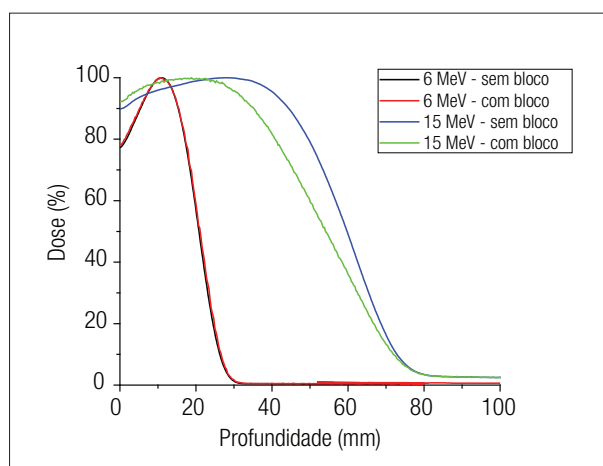


Figura 8. Porcentagem de dose profunda com bloco 5 e sem bloco – Wellhofer.

Discussão e Conclusões

O efeito de blindagens de cerrobend em campos de elétrons no fator *output* foi comprovado neste trabalho, e diversos métodos foram aplicados para tal verificação.

Uma primeira análise foi feita por meio da comparação entre a dose lida nos filmes e a fornecida pelo sistema de planejamento para os blocos 2 e 5 (Tabela 3). Os desvios foram aceitáveis para 6 MeV e inaceitáveis para 15 MeV, possivelmente porque o sistema de planejamento consegue corrigir a curva de PDP para campos colimados de elétrons, mas não consegue considerar a colimação no cálculo da dose, fato mais pronunciado para energias altas, nas quais o espalhamento é maior.

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre a menor dimensão da colimação e s_m . Por esses dados é de se esperar o que se observou:

- o bloco 3, que atinge o EEL para todas as energias, apresenta um valor de $R \approx 100\%$ e curvas de PDP não são alteradas pela presença do bloco, como evidenciam as curvas da Figura 7;
- com os blocos 1 e 2 acontece o contrário: como o EEL não é atingido em nenhuma energia, os valores de R são inferiores a 100% e há diferença entre as PDP das Figuras 5 e 6;
- este comportamento se repete para os blocos 4 e 5, em que R é inferior a 100%, assim como as curvas de PDP do bloco 5 também apresentam diferenças entre as curvas com e sem colimação (Figura 8);
- o bloco 6, usado clinicamente em colimações de coluna em tratamentos de cabeça e pescoço, apresentou um valor de $R=100\%$, exceto para a energia de 15 MeV.

Observe-se que as diferenças entre as PDPs para a energia de 6 MeV são desprezíveis (menores que 2%), como indicam os grandes valores de R .

Para o bloco 2, nota-se que o efeito da colimação é maior na energia de 15 MeV, que tem a razão R bem menor que 100% (Tabela 4), do que na energia de 6 MeV para a qual o valor de R é próximo de 100%. O mesmo comportamento se observa para o bloco 5, na Figura 4. As curvas de PDP medidas (Wellhofer) e calculadas (Eclipse), apresentadas nas Figuras 3 e 4, mostram uma boa concordância da interferência dos blocos nas curvas de PDP.

Concluindo, pode-se afirmar que para campos de elétrons pouco colimados não é necessário fazer correções que levem em conta a colimação. O tamanho máximo da colimação para este comportamento depende da energia.

Uma vez definidos os valores de s_m , torna-se fácil estabelecer a necessidade ou não da aplicação de correções devido à presença da colimação, mais ainda sabendo-se que esses valores independem do tamanho do cone.

Ressaltamos que algumas aplicações clínicas bem comuns não necessitam de correção.

Referências

1. Khan FM, Higgins PD. Field equivalence for clinical electron beams. *Phys Med Biol.* 2001;46:N9-N14.
2. Khan FM. *The physics of radiation therapy.* Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2003.