

Estudo do comportamento dos parâmetros dosimétricos em dois aceleradores lineares, um reconicionado e outro de alta tecnologia, utilizados no tratamento radioterápico

L. M. S. Henriques¹; A. F. Maia¹; W. M. Santos²

¹*Departamento de Física, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-Se, Brasil*

²*Fundação de Beneficência Hospital de Cirurgia, Aracaju-Se, Brasil*

lais_msh@hotmail.com

Nesse trabalho, foi avaliado o comportamento dos parâmetros dosimétricos mais frequentemente utilizados nos cálculos das doses, responsáveis pelas unidades monitoras empregadas nos tratamentos de radioterapia com feixes de fótons de 6 MV de dois aceleradores lineares de diferentes fabricantes, com o objetivo de verificar se existem diferenças significativas nas doses cedidas aos pacientes submetidos ao tratamento radioterápico. Os parâmetros utilizados na avaliação foram: porcentagem de dose em profundidade (PDP), razão tecido máximo (RTM) e fatores de rendimento (FR). Diante da análise dos dados, conclui-se que as maiores variações para as PDP's e as RTM's foram encontradas em maiores profundidades, sendo a variação máxima para ambos os parâmetros em torno de 5%. Considerando os fatores de rendimento, as diferenças foram em torno de 1%. Embora os resultados avaliados dos parâmetros dosimétricos apresentem diferenças para os dois aceleradores, os mesmos não geram variações significativas nas doses cedidas aos pacientes submetidos ao tratamento radioterápico quando analisadas as distribuições das doses em um sistema de planejamento médico tridimensional utilizado no tratamento radioterápico conformacional.

Palavras-chave: Radioterapia; dosimetria do feixe; acelerador linear reconicionado

In this study, we examined the behavior of dosimetric parameters most commonly used in the calculation of doses that are responsible for monitor units used in the treatment of radiotherapy with photon beams of 6 MV of two linear accelerators from different manufacturers, in order to check whether there are differences ceded significant doses to patients undergoing radiotherapy. The parameters used in the evaluation were: percentage depth dose (PDP), tissue maximum ratio (TMR) and output factors (FR). Before the data analysis, we conclude that the largest variations to the PDP's and TMR's were found in more depths, and the maximum variation for both parameters around 5%. Considering the factors of income, the differences were around 1%. Although the results of dosimetric parameters evaluated exhibit differences for the two accelerators, they do not generate significant variations in doses to patients assigned to radiotherapy in the analysis of distributions of doses in a three-dimensional medical planning system used in conformal radiotherapy treatment.

Keywords: Radiotherapy; beam dosimetry; reconditioned linear accelerator

1. INTRODUÇÃO

A radioterapia externa utiliza fontes distintas de radiações, localizadas a vários centímetros da pele do paciente. Depois da invenção das unidades de cobalto 60 (⁶⁰Co), em 1950, para uso em teleterapia, ocorreu um avanço no uso de equipamentos emissores de fótons com energias mais elevadas, como os aceleradores lineares (LINAC), que disponibilizam feixes de fótons com energias em torno de 6 MV a 20 MV e que passaram a ser largamente empregados na radioterapia a partir da década de 1970 [1].

Atualmente, o contingente populacional que necessita de tratamento radioterápico é enorme e cresce continuamente. Apesar disso, a demanda de aceleradores lineares no Brasil é insuficiente e muitos centros de radioterapia ainda dispõem de aceleradores lineares reconicionados.

A consulta pública nº 34 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária publicada em 28 de junho de 2011 coloca em questão uma proposta de Resolução que dispõe sobre assuntos relacionados aos equipamentos sob regime de vigilância sanitária usados, reconicionados, alugados e em comodato. Dentre estes equipamentos, estão os aceleradores lineares.

A proposta de Resolução questiona e procura disciplinar a permanência destes equipamentos em funcionamento no Brasil. Consequentemente, busca assegurar e garantir que os procedimentos radioterápicos continuem sendo executados com qualidade e eficiência.

Em radioterapia, a determinação exata dos parâmetros dosimétricos dos feixes de fótons responsáveis pela distribuição das doses cedidas aos pacientes durante os procedimentos radioterápicos desempenha um papel importante na qualidade e eficiência dos tratamentos. Os principais parâmetros dosimétricos responsáveis pela distribuição das doses são os fatores de rendimento (FR's), porcentagens de dose profunda (PDP's) e as razões tecido máximo (RTM's).

Geralmente, os serviços de radioterapia contratam empresas especializadas na aquisição dos parâmetros dosimétricos, estes parâmetros são inseridos nos sistemas de planejamento radioterápico tridimensional (3D), que simulam a distribuição da dose absorvida no interior do paciente, definindo a melhor forma de tratamento a ser adotado [2].

Por outro lado, as doses cedidas aos pacientes resultam da combinação dos dados dos parâmetros dosimétricos, dos sistemas de planejamento utilizados e dos tipos e modelos dos aceleradores lineares usados durante os tratamentos de radioterapia.

Desse modo, é de significativa importância comparar os dados dosimétricos dos equipamentos modernos e reconicionados, assim como as distribuições das doses dos sistemas de planejamento radioterápicos.

O objetivo deste estudo é realizar uma análise comparativa entre os parâmetros dosimétricos dos equipamentos modernos e reconicionados e proceder uma verificação da distribuição das doses cedidas aos pacientes utilizando um sistema planejamento tridimensional (3D) para um tratamento de radioterapia conformacional.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em dois Serviços de Radioterapia, instituições "A" e "B". A primeira etapa foi avaliar os dados dosimétricos de dois aceleradores lineares de 6 MV de fabricantes diferentes, sendo um reconicionado (equipamento A) e outro construído com tecnologia moderna (equipamento B). Os parâmetros dosimétricos foram coletados através de um sistema de dosimetria computadorizada (3D), de acordo com os protocolos disponíveis na literatura científica [3e 4], por uma empresa responsável pela aquisição de dados usados em radioterapia.

Para cada um dos aceleradores lineares, os parâmetros dosimétricos: fatores de rendimento (FR's), porcentagens de dose profunda (PDP's) e as razões tecido máximo (RTM's) foram analisados e comparados entre instituições para os tamanhos de campos de $5 \times 5 \text{ cm}^2$ a $35 \times 35 \text{ cm}^2$, nas profundidades de 0 a 30 cm.

Para estudar a influência da variação dos parâmetros dosimétricos na dose cedida aos pacientes, foram simulados planejamentos conformacionais isocêntricos de um paciente portador de neoplasia de próstata em cada uma das instituições. Os planejamentos foram realizados utilizando o mesmo sistema de planejamento médico tridimensional e a mesma técnica de distribuição de dose (cinco campos com angulações de 0° , 130° , 230° , 92° e 268° , o mesmo isocentro, mesmo PTV, mesma margem de bloco, mesmos pesos e a mesma prescrição de dose no PTV de 7200 cGy). A instituição "A" trabalha com o software de planejamento médico radioterápico na versão 10.01, e a instituição "B", com a versão 2.07.

Em ambos os planejamentos, foram avaliadas as doses máximas para o PTV e as doses nos órgãos de risco. Para o reto e a bexiga, foram analisadas as doses recebidas em 15%, 25%, 35% e 50% do seu volume, enquanto que, para as articulações coxofemorais foram consideradas as doses pontuais máximas em seu volume. As análises dos histogramas de dose volume (HDV's) foram comparadas com base nos parâmetros utilizados para radioterapia conformada [5].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados dos parâmetros dosimétricos responsáveis pela distribuição das doses nos pacientes e os resultados obtidos dos sistemas de planejamento médico tridimensional analisados e comparados neste estudo serão apresentados a seguir.

Através da análise dos resultados, verificou-se que para as porcentagens de dose profunda (PDP's) e razões tecido máximos (RTM's) apresentados nas figuras 1 e 2, os seus valores sofriam maiores variações quando comparados em maiores profundidades, sendo que a diferença máxima encontrada foi em torno de 5% na profundidade de 30 cm para um tamanho de campo de $5 \times 5 \text{ cm}^2$ (tabela 1).

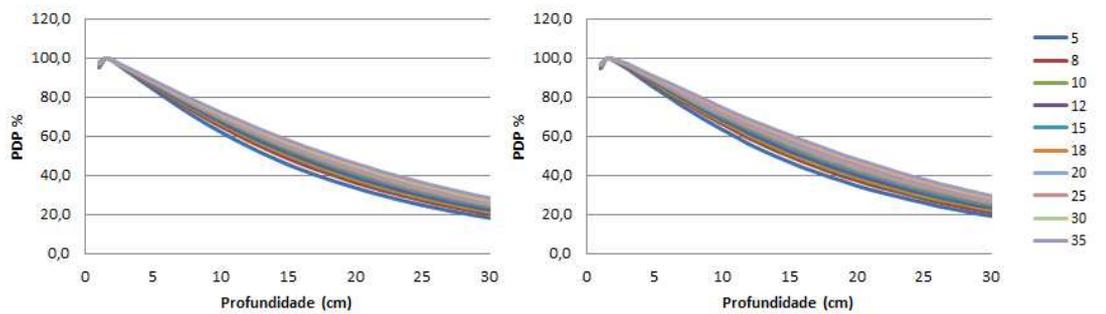


Figura 1: Curvas das PDPs em função da profundidade para diversos tamanhos de campo para o equipamento A e B, respectivamente.

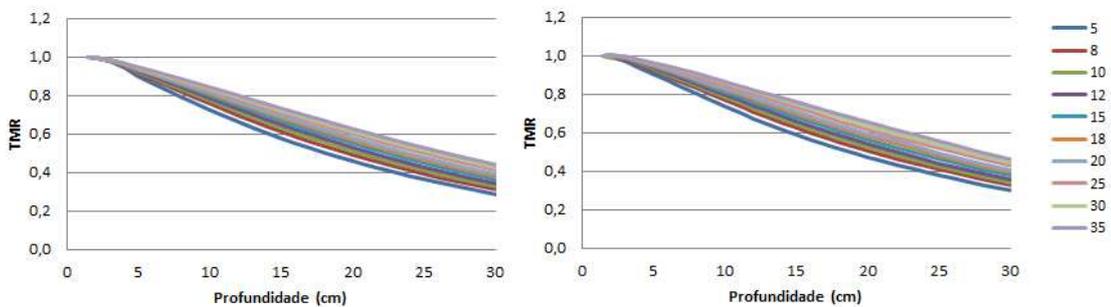


Figura 2: Curvas das TMRs em função da profundidade para diversos tamanhos de campo para o equipamento A e B, respectivamente.

Tabela 1: Diferenças percentuais das PDP's e das RTM's para alguns tamanhos de campo e profundidades.

Prof. (cm)	Tamanho de campo (cm ²)									
	5x5		10x10		15x15		20x20		30x30	
	PDP	RTM	PDP	RTM	PDP	RTM	PDP	RTM	PDP	RTM
1,5	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2,0	0,00%	0,10%	0,10%	0,81%	0,40%	0,30%	0,40%	0,40%	0,80%	0,70%
3,0	0,85%	0,62%	1,35%	0,61%	1,45%	0,81%	1,45%	1,01%	1,75%	1,10%
4,0	0,67%	0,96%	1,42%	0,52%	1,42%	0,72%	1,40%	0,82%	1,71%	1,22%
5,0	0,82%	0,55%	1,37%	1,28%	1,60%	1,48%	1,48%	1,47%	1,93%	1,77%
6,0	1,12%	1,03%	0,84%	0,78%	1,42%	1,20%	1,91%	1,72%	2,53%	2,33%
7,0	1,19%	0,96%	1,49%	1,37%	1,53%	1,34%	1,83%	1,66%	2,98%	2,70%
8,0	1,54%	1,49%	1,25%	1,30%	1,56%	1,27%	1,79%	1,59%	3,46%	2,97%
9,0	1,78%	1,43%	1,24%	1,23%	1,32%	1,07%	1,61%	1,40%	3,61%	2,94%
10,0	1,89%	1,63%	1,44%	1,52%	1,43%	1,23%	2,09%	1,68%	3,50%	2,90%
15,0	2,77%	2,20%	1,56%	1,86%	2,42%	1,47%	2,48%	2,11%	4,67%	3,60%
20,0	2,87%	2,54%	2,59%	2,85%	2,79%	1,95%	2,50%	2,36%	5,13%	3,61%
25,0	5,06%	3,68%	3,06%	3,05%	3,41%	3,23%	4,06%	3,04%	5,16%	3,90%
30,0	5,28%	4,64%	4,46%	3,51%	3,93%	4,47%	4,42%	3,44%	4,74%	4,25%

Com relação aos fatores de rendimento (FR's) avaliados, as variações máximas encontradas entre as instituições foram em torno de 1% para o tamanho de campo de 30x30 cm² (tabela 2).

Tabela 2: Valores de FR's para as instituições A e B e as respectivas diferenças percentuais.

Instituição	Tamanho de campo (cm ²)						
	5x5	10x10	15x15	20x20	25x25	30x30	35x35
A	0,949	1,000	1,028	1,047	1,065	1,075	1,079
B	0,952	1,000	1,028	1,046	1,060	1,067	1,072
Diferença	0,27%	0,00%	0,00%	0,07%	0,47%	0,74%	0,65%

A provável razão das variações encontradas nos valores dos parâmetros dosimétricos pode ser atribuída às diferenças entre as energias e às características dos equipamentos. A energia de um feixe de fótons pode ser especificada através da sua razão tecido *phantom* (TPR). Considerando as profundidades de 10 e 20 cm (TPR_{20,10}), o valor do TPR para a instituição "A" foi igual a 0,661, enquanto que para a instituição "B" esse valor foi de 0,669, causando uma variação de aproximadamente 1%.

Cho e col. (2003), analisando os dados dos parâmetros dosimétricos de varias instituições, observaram que os feixes de fótons de aceleradores lineares da mesma marca, modelo e energia poderia ser representado por um único conjunto de dados de referência dentro de $\pm 2\%$. Contudo, os autores recomendam uma análise para os aceleradores que não foram inclusos neste estudo, como os equipamentos mais antigos ou reconicionados [6].

Com relação à análise através dos sistemas de planejamento tridimensional, são apresentadas a seguir as distribuições das curvas de isodose (figura 3) e os histogramas dose volume (figura 4) para os dois planejamentos conformados isocêntricos de um paciente com neoplasia de próstata, simulados utilizando a mesma técnica.

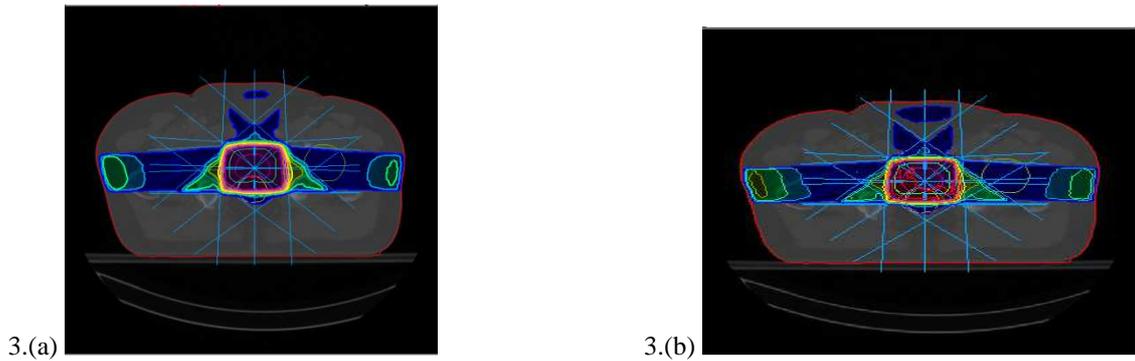


Figura 3: Distribuição de campos e isodoses com radioterapia conformada. (a) Instituição “A” (sistema de planejamento na versão 10.01) (b) Instituição “B” (sistema de planejamento na versão 2.07).

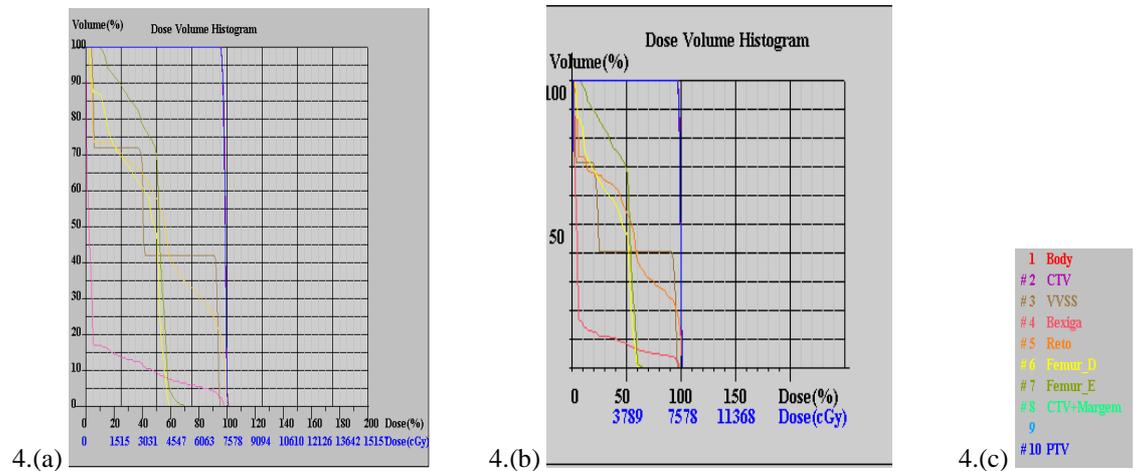


Figura 4: Histogramas dose volume. (a) Instituição “A” (sistema de planejamento na versão 10.01) (b) Instituição “B” (sistema de planejamento na versão 2.07).

Diante da análise das curvas de isodose (figura 4) obtidas através dos sistemas de planejamento, percebeu-se que as distribuições das doses cedidas aos pacientes apresentam forma semelhante quando comparadas para os dois planejamentos realizados nas instituições “A” e “B”.

A análise dos histogramas dose volume (HDV's), com base na comparação das doses máximas no PTV, das doses na bexiga e no reto para os volumes de 15%, 25%, 35% e 50% e das doses pontuais máximas para as articulações coxofemorais nos dois sistemas de planejamento médico radioterápico, é apresentada nos gráficos das figuras 5 e 6.

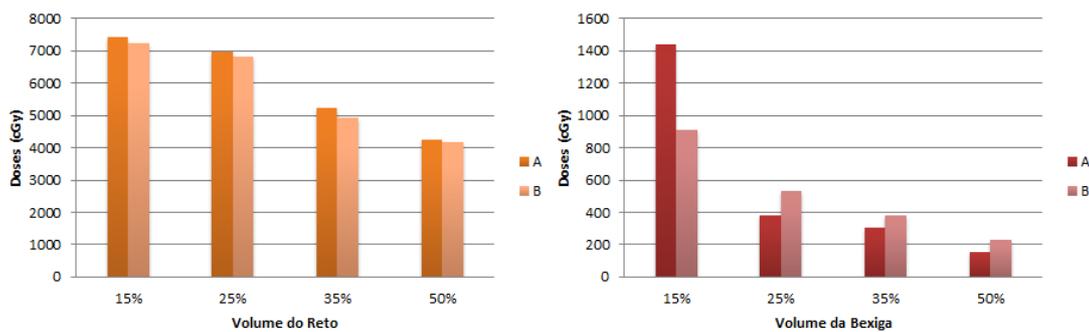


Figura 5: Comparação das doses em 15%, 25%, 35% e 50% do volume do reto e da bexiga.

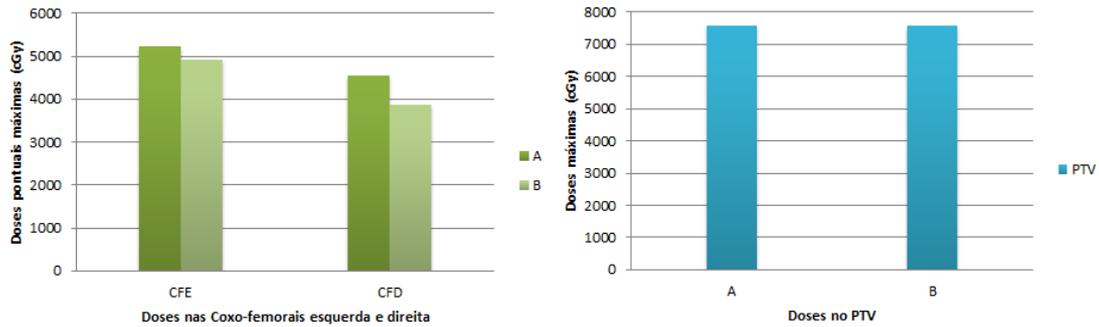


Figura 6: Comparação das doses máximas nas articulações coxofemoral esquerda e direita e no PTV.

O estudo comparativo entre os dois planejamentos mostrou que as doses encontradas nos DVH's do reto (figura 5) são maiores para a instituição "A", porém com uma diferença não significativa. Com relação às doses na bexiga (figura 5), estas foram menores, ao se fazer a análise dos seguintes volumes: 25%, 35% e 50% e maior para o volume de 15%, na instituição "A". Para as articulações coxofemorais, o planejamento da instituição "A" provocou maiores doses pontuais máximas (figura 6). No entanto, os planejamentos não geraram diferenças quando analisadas e comparadas às doses máximas no PTV (figura 6).

Estas diferenças encontradas nas distribuições das doses para os dois planejamentos podem ser atribuídas às variações nos dados dos parâmetros dosimétricos (instituição A e B) utilizados nos cálculos da distribuição das doses dos sistemas de planejamento radioterápico, como também devido às diferenças no algoritmo de cálculo das doses do sistema de planejamento para as versões 10.01 da instituição "A" e 2.07 da instituição "B".

Estas variantes podem ser corrigidas através de uma análise mais criteriosa para otimização das doses, como fazer modificações nas configurações dos campos utilizados nos planejamentos radioterápicos simulados, entretanto mantendo os limites de doses recomendados no PTV e nos órgãos de riscos [5].

4. CONCLUSÃO

Embora os resultados avaliados dos parâmetros dosimétricos apresentem diferenças para os dois aceleradores, os mesmos não geram variações significativas nas doses cedidas aos pacientes submetidos ao tratamento radioterápico, quando analisadas as distribuições das doses em um sistema de planejamento médico tridimensional, utilizado no tratamento radioterápico conformacional.

Como consequência desta análise, juntamente com o fato de que os aceleradores reconicionados concentram-se também na rede pública de saúde, fica evidente então, a grande importância do uso dos aceleradores lineares reconicionados para o tratamento radioterápico no Brasil.

1. PODGORSK, E.B. Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students. *International Atomic Energy Agency*. Vienna, 2005.
2. IAEA - INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Commissioning and quality assurance of computerized planning systems for radiation treatment of cancer. *Technical Report Series* N°. 430. Vienna, 2004.
3. KHAN, F.M. The physics of radiation therapy. 4. ed. Philadelphia: Williams & Wilkins, 2010.
4. SCAFF, L.A.M. Física da Radioterapia. 1. ed. São Paulo: Sarvier, 1997.
5. MICHALSKI, J. M. *et al.* Toxicity after three-dimensional radiotherapy for prostate cancer on RTOG 9406 dose Level V. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 62:706-713 (2005).
6. CHO, S. H.; IBBOTT, G. S.: Reference photon dosimetry data: A preliminary study of in-air off-axis factor, percentage depth dose, and output factor of the Siemens Primus linear accelerator. *Journal Of Applied Clinical Medical Physics.* 4(4):300-306 (2003).